DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA E INDUSTRIAL

FIABILIDADE E GESTÃO DA MANUTENÇÃO DE EQUIPAMENTOS PORTUÁRIOS

Por : Francisco Manuel Horta Mocho

Dissertação apresentada na Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa, para a obtenção do Grau de Mestre em Engenharia de Gestão Industrial, na especialidade de Fiabilidade e Gestão da Manutenção.

Orientador : Professor Doutor José António Mendonça Dias

LISBOA
OUTUBRO 2009

À minha família

AGRADECIMENTOS

Agradeço desde já ao Professor Rogério Puga Leal por me ter encaminhado e orientado na definição do tema deste trabalho.

Ao Engenheiro Amaro Mendes da PORTSINES, pela fundamental contribuição dos seus dados que me permitiram proceder á análise e estudos da fiabilidade da instalação e respectivos componentes.

Ao Professor José Mendonça Dias, um sentido muito obrigado por me ter obrigado a desenvolver uma dissertação sobre um tema que muito me apraz. Ao longo deste ano foi me acompanhando, motivando e incentivando para que este trabalho fosse cada vez mais exigente e rigoroso. Explicando os assuntos abordados com grande clareza e simplicidade. A verdade é que sem o seu contributo este trabalho não teria visto a luz do dia.

Aos meus Pais que sempre me motivaram e incentivaram para superar as dificuldades e ter o ânimo necessário para levar o trabalho a bom Porto.

Ao meu tio pela sua insistência e persuasão para que ambicionasse ir mais longe nos estudos.

À minha mulher por ficar sobrecarregada com os nossos filhos durante os inúmeros serões que fui fazendo ao longo deste ano.

SUMÁRIO

Este trabalho pretende fazer uma abordagem e estudo da manutenção de uma instalação um pouco diferente da indústria corrente, nomeadamente um terminal portuário de descarga e movimentação de granéis sólidos.

Pretende-se iniciar um estudo sobre a manutenção da instalação utilizando algumas ferramentas da qualidade como forma de detectar os componentes críticos para depois se fazer um estudo da fiabilidade do sistema e dos seus componentes mais relevantes.

Começando por utilizar alguns dados históricos das avarias em diagramas de Pareto para determinar componentes ou causas mais frequentes ou importantes, Diagramas Causa-efeito para se determinar as razões que podem levar a um desgaste prematuro do componente e Diagramas de dispersão para se determinar se existe uma co-relação entre o ritmo da operação e a duração do componente.
Depois analisamos os dados das avarias fazendo um teste de Hipóteses (Teste de Laplace) para determinar se a fiabilidade e o comportamento da instalação segue uma Distribuição de Poisson Homogénea.
Através destes modelos de fiabilidade vamos ainda determinar os parâmetros da manutenção da instalação portuária durante os anos de 2006, 2007 e 2008.

Para determinar a estimativa dos parâmetros da distribuição da duração dos componentes faremos, através da modelação dos dados históricos na distribuição de Weilbull, seguindo os passos descritos no artigo técnico do professor José Mendonça Dias : "*Optimização do Período de Substituição Preventiva de Componentes em Função dos Custos",* **um estudo da duração e comportamento dos cabos de aço das gruas portuárias para depois determinar o seu ponto óptimo de substituição cuja relação entre o custo da substituição preventiva e os custos de uma reparação correctiva em função da densidade de probabilidade de falha seja a mais económica.**

SUMMARY

This Project has the purpose to make an approach and maintenance study about a solid bulk terminal witch is an installation much different than the current industry.

The study initiate about maintenance in the machinery by using some quality tools to detect critical components so we can analyse the reliability of the system and their most important items.

Using the failures historical data in Pareto Diagrams to find critical items or components and the most usual failures and breakdowns, then building a cause and effect diagram to determine the main reasons that can leave to a premature wearing or failure of the component and a dispersion diagrams to analyse if there is any co-relation between the rhythm of the operations and the live of the component.
Then we'll analyse the failures historical data with a hypothesis testing (Laplace's Testing) to determine if the reliability and equipment behaviour follows an homogenise Poisson distribution.
Trough those reliability models we'll going to calculate the maintenance parameters of the facility between 2006 and 2008.

To calculate the estimated distribution parameters about the steel cables duration, we'll modelling the historical data in a weilbull distribution, following the steps described in the technical article of Professor José Mendonça Dias "Optimal meantime Preventive replacement of components due to the effective costs" **a study of the duration and behaviour of the Port Cranes steel cables to calculate the optimal meantime to a preventive replacement instead a corrective maintenance using the probably density function that provides the lowering costs.**

SIMBOLOGIA E NOTAÇÕES

TMS – Terminal Multipurpose de Sines
GT – Gross tonnage (Arqueação bruta ou peso bruto da embarcação)
DWT – Death Weigh tonnage (capacidade de carga liquida)
DS – Descarregador de Navios, Pórtico ou Grua Portuária
Mtons – Milhares de toneladas – Unidade de medida da duração dos cabos de aço
Hold – Elevação do Balde
Close – Abertura e fecho do Balde
Trolley – Carro de movimento horizontal do Balde
SR – Stacker-reclaimer (Máquina de parque combinada)
SL – Shiploader (Carregador de Navios)
ECV – Estação de carregamento de vagões
Ro-Ro – Cais em rampa para carga em rolamento autónomo (Roll-on Roll-off)
ZH – Zero Hidrográfico (menor profundidade em maré baixa equinocial)
C-nº – Conveyer nº (Transportador de correia)
P – Potência activa em (Kw)
S- Potência aparente em (KvA)
U1 – Tensão de entrada do transformador
U2 – Tensão de saída do transformador
Cosφ – Factor de potência
I – Corrente (A)
In – Corrente nominal (A)
Ho: Hipótese nula
H1: Hipótese do teste
A (Disponibilidade média) -
A (t) = Probabilidade do elemento estar a funcionar no período t
MTTF (mean time to failure) – Tempo médio de funcionamento até ocorrer uma falha.
MTBF (mean time between failure) – Tempo médio de funcionamento entre falhas (Normalmente este conceito está associado a sistemas reparáveis como sejam equipamentos ou grupos de equipamentos)
MTTR (mean time to repair) – Tempo médio de reparação após falha (Normalmente este conceito está associado a sistemas não reparáveis como sejam componentes ou equipamentos de substituição integral)

T – Tempo total de funcionamento dos equipamentos durante a recolha dos dados

PPH – Processo de Poisson Homogéneo

PPNH – Processo de Poisson Não Homogéneo

τ – Idade do sistema no momento da falha

λ - Taxa de avarias (Avarias/hora ou Avarias/minuto)

λ* - Taxa de avarias (Modelo de Crow)

β - parâmetro de forma da distribuição de Weibull

η – Parâmetro de escala da distribuição de Weibull

t – Parâmetro de localização da distribuição de Weibull

Cf - Custo total da intervenção correctiva

Cp - Custo total da manutenção preventiva

C(tp) - Custo por intervenção preventiva

f(t; β; η) - Função densidade probabilidade de Weilbull

R(tp) - Função de fiabilidade R(tp) do componente

ÍNDICE GERAL **Pág**

Índice de matérias e figuras

5 - Manutenção preventiva de componentes

6 – Conclusões

Bibliografia utilizada e referências

ANEXOS

ÍNDICE DE FIGURAS

Pág

Pág

ÍNDICE DE TABELAS

Pág

1 - Introdução

1.1 - Âmbito do trabalho

No planeamento das actividades económicas, na maioria dos casos, a fiabilidade e disponibilidade operacional dos equipamentos que permitam exercer qualquer actividade é relegada para um plano secundário o que faz com que surjam custos acrescidos na exploração, que não estavam nos pressupostos iniciais, podendo comprometer a viabilidade de uma determinada exploração. Na indústria transformadora e de produção a componente manutenção tem cada vez mais peso nos custos variáveis. Não quer dizer que os custos de manutenção estejam a aumentar, mas face ás medidas que as empresas têm de implementar para se manterem competitivas, como seja a redução dos custos das matérias-primas, redução dos custos com o pessoal, automatização e modernização das unidades industriais, e ainda o aumento da eficiência energética, fazem com que a rubrica manutenção tenha cada vez mais importância devido aos encargos com a imobilização dos equipamentos das linhas de produção, pelo que se torna imperativo dar maior atenção a esta componente tantas vezes negligenciada, cujo desempenho ganha cada vez maior importância nos processo das empresas e indústrias modernas.

Para uma organização ser viável é necessário ter uma ideia que venda para um mercado receptivo e um processo produtivo competitivo, eficiente e sustentável. No primeiro está-se dependente da procura e aceitação do produto/serviço mas é no processo que a técnica, eficiência, produtividade, energia e fiabilidade se revelam determinantes para o sucesso de um processo. A manutenção dos equipamentos conferindo-lhes um grau de fiabilidade que permita uma elevada produção com baixos tempos de imobilização e melhoria da eficiência técnica e energética torna-se um objectivo primordial num mundo cada vez mais competitivo onde todos os números contam para garantir a sobrevivência e prosperidade das organizações.

Os Portos e respectiva infra-estrutura portuária são a principal porta de entrada e saída de mercadorias de Portugal, pelo que a importância económica de cada Terminal Portuário é cada vez mais relevante. A competitividade produtividade e eficiência destas instalações, para além dos aspectos operacionais e logísticos, estão muito condicionadas pelo desempenho dos equipamentos portuários pelo que se torna imperativo aumentar a fiabilidade destes. Para se conseguir este objectivo é necessário analisar e estudar o comportamento actual para se detectar equipamentos problemáticos, optimizar a duração dos componentes mais críticos e fazer uma criteriosa gestão da manutenção.

1.2 – Objectivos do trabalho

A proposta deste projecto tem por finalidade a análise da fiabilidade e metodologias de gestão da periodicidade da manutenção de componentes relevantes de uma instalação portuária, que utiliza gruas com sistemas de cabos e uma rede de transportadores por correia, utilizando modelações adequadas.

Pretende-se determinar e caracterizar os parâmetros de funcionamento da instalação, no que toca à fiabilidade, disponibilidade e taxa de avarias associada ao funcionamento dos equipamentos de descarga de granéis sólidos dos Navios e seu transporte através de correias transportadoras, recorrendo aos registos disponíveis.

Após estudar a fiabilidade, disponibilidade e taxa de avarias decorrentes da actividade dos últimos 3 anos, será analisado um componente fundamental e crítico para o bom desempenho da instalação no funcionamento das operações.

Este trabalho terá dois objectivos relevantes em que o primeiro consiste em estudar o comportamento das falhas e ocorrências durante a operação de descarga de carvão de navios graneleiros, com Death weight tonelage (DWT) entre as 60.000 (Panamax size) e as 180.000 toneladas (Cape size), e respectiva movimentação e manuseamento que pode ser feito, quer através da expedição directa por transportadores de correia de borracha, ou em depósito directo para pilhas de carvão localizadas dentro da instalação portuária.

O segundo objectivo será a análise da substituição preventiva de componentes, neste caso serão os cabos de aço dos descarregadores, para se determinar o período óptimo da sua substituição preventiva minimizando a relação dos custos com a manutenção preventiva com os custos resultantes da manutenção correctiva.

Concluindo o estudo do comportamento da instalação portuária em termos da sua fiabilidade e a disponibilidade de toda a linha da operação de descarga, iremos abordar a reparação preventiva de componentes utilizando os fundamentos teóricos descritos no artigo "Optimização do período de substituição preventiva de componentes em função dos custos" do Professor José Mendonça Dias publicado na revista "Manutenção" Nº94/94 do 3º e 4º Trimestres de 2007, aplicado a um componente relevante das gruas portuárias, que neste caso, serão os cabos de aço.

Pretende-se saber se é possível modelar a duração de cada tipo de cabos utilizados nos descarregadores de forma a que se consiga encontrar um ponto óptimo entre o custo da manutenção preventiva e os eventuais custos da manutenção correctiva garantindo, com um elevado grau de confiança, que estes cabos não se rompam durante a operação, o que acarretaria elevados prejuízos. Teremos de procurar manter um elevado tempo de funcionamento do componente em segurança atendendo que este componente e respectiva manutenção preventiva também acarretariam custos muito significativos.

1.3 – Condições e pressupostos

Neste trabalho primeiro analisaremos as ocorrências durante os anos de 2006 a 2008 para determinarmos o tempo médio entre falhas, a disponibilidade e taxa de avarias para em seguida modelar o tipo de distribuição a que correspondem as avarias observadas e, através de um teste de hipóteses, verificar se estamos na presença de um processo de Poisson homogéneo ou não homogéneo com taxa de avarias crescente ou decrescente ao longo de cada ano.

Os dados serão depois analisados, recorrendo a algumas ferramentas da qualidade que nos permitam identificar causas mais relevantes e significativas para desenvolver estudos e modelos de duração de componentes.

As falhas apenas consideram ocorrências de natureza técnica, não considerando falhas originadas por má condução, operação ou sinistros dos equipamentos da instalação.

No caso das condições climatéricas que possam influenciar o desempenho dos equipamentos em estudo, estas não serão consideradas, em virtude de não existirem registos que possam ser co-relacionados com eventuais ocorrências, o que na prática não irá alterar significativamente os resultados.

Apesar dos registos das operações indicarem sempre qual o operador no momento da falha, estes registos não têm relevância, uma vez que estes apenas terão utilidade para determinar falhas ou erros operacionais, como já foi dito anteriormente, estes não entram para o estudo que se limita a ser puramente técnico.

Na análise da duração dos cabos dos descarregadores, consideramos todos os dados provenientes dos registos disponibilizados como válidos, embora os valores que sejam considerados muito baixos para a duração destes sejam sujeitos a censura quando se modelar pela distribuição de Weibull.

1.4 – Corpo do Trabalho

1.4.1 - Este trabalho será constituído primeiro por um capítulo introdutório, onde será feita uma breve introdução, para depois passar ao resumo do corpo do trabalho onde vamos descrever resumidamente os assuntos que irão ser abordados em cada capítulo, bem como os meios envolvidos, objectivos e pressupostos.

1.4.2 - No segundo capítulo será feita uma pesquisa bibliográfica que irá explicar a teoria, fundamentos, definições e fórmulas aplicadas nos cálculos e desenvolvimento dos estudos que se irão realizar ao longo deste trabalho.

1.4.3 - O Terceiro capítulo descreve a empresa, neste caso a instalação portuária, o seu enquadramento económico e energético, o princípio de funcionamento técnico, os equipamentos principais, os processos e sua interacção com os equipamentos e qual a importância de cada equipamento ou conjunto de equipamentos no seu funcionamento operacional.

1.4.4 - No quarto capítulo, será feita a análise dos parâmetros da manutenção na óptica da fiabilidade e gestão da Manutenção para a instalação de descarga de carvão com descarregadores portuários e rede de movimentação e transporte de granéis.

1.4.5 - No quinto capítulo será feita uma abordagem sobre a manutenção preventiva de componentes que, pela sua criticidade, são de importância vital na disponibilidade dos equipamentos e redução dos custos resultantes das paragens operacionais. Neste caso abordaremos os cabos de aço dos descarregadores como um dos componentes vitais para um bom desempenho da instalação com elevadas repercussões económicas ao nível do sistema energético nacional. Será realizado um estudo para cada tipo de cabo, para determinar o período óptimo de substituição preventiva destes componentes garantindo uma boa operacionalidade e reduzindo o custo global de exploração e desenvolvimento desta actividade económica.

1.4.6 - No capítulo 6 serão feitas as conclusões relativamente aos estudos e cálculos práticos realizados nos capítulos 4 e 5 assim como as recomendações para outros estudos, dificuldades, condicionamentos, pressupostos e importância destes estudos no contexto prático de uma instalação Portuária de descarga de granéis sólidos.

1.4.7 – Todas as menções, referências bibliográficas, citações, teorias, publicações e artigos de interesse relevante na elaboração deste trabalho serão devidamente mencionadas. Também as ferramentas informáticas, aplicações e software fundamentais nos cálculos e na elaboração deste trabalho serão apontadas.

1.4.8 - Os anexos contêm os mapas e registos em que se baseia a informação para realizar os cálculos. Dada a dimensão e extensão de algumas tabelas, estas foram remetidas para os anexos em que o Anexo I contém o mapa das avarias tipo para elaboração dos diagramas de Pareto, o anexo II contém os mapas com todas as avarias técnicas anuais para se determinar os parâmetros da manutenção e o anexo III contém as tabelas da duração dos cabos para determinação do seu período óptimo de substituição.

2 – Pesquisa Bibliográfica

2.1 – Introdução

Para se iniciar um estudo de fiabilidade de uma dada instalação pode-se recorrer a algumas ferramentas da qualidade que podem auxiliar a interpretar o comportamento da instalação e respectivos componentes. Estas também podem ajudar na gestão da manutenção e análise do desempenho da actividade. Complementarmente, a aplicação dos conceitos de estatísticos no estudo, análise e determinação de valores, parâmetros e rácios permitem, ao gestor da manutenção, a tomada de decisões de uma forma eficiente e económica.

A todos os processos industriais está associada a componente manutenção como uma parcela de elevado peso na exploração, devido não só aos custos inerentes á manutenção do funcionamento dos processos, como também ao custo de paragem, indisponibilidade, imobilização, quebra de produção, ruptura de stocks, perda de confiança, perda de clientes e acidentes.

No desenvolvimento de novos projectos a tendência será sempre a de tentar reduzir o número de intervenções e a duração e frequência das tarefas de manutenção preventiva que requeiram intervenção humana ou obriguem a imobilizar os equipamentos com frequência. Também por outro lado, a manutenção correctiva que não esteja sob controlo, pode acarretar imobilizações dos equipamentos com custos bastante penalizadores.

Torna-se importante o estudo do comportamento da fiabilidade de um sistema recorrendo a diversas ferramentas que permitam o diagnóstico da frequência, duração e quais os componentes mais sujeitos a falhas.

Recorrendo aos dados dos registos históricos de uma instalação pode-se identificar os componentes mais problemáticos e as causas das avarias mais frequentes. Como objectivo final pretende-se reduzir ou prevenir o número de ocorrências mas também melhorar o desempeno dos equipamentos, tanto ao nível da fiabilidade como também na eficiência operacional.

É possível chegar a algumas conclusões sobre o que poderá ser melhorado nos equipamentos utilizando os dados dos registos, fazendo diagramas de Pareto para identificar as causas ou equipamentos mais problemáticos, para depois então elaborar um diagrama causa-efeito que seja corroborado através de um diagrama de dispersão ou cartas de controlo. Este processo, transversal à maioria das ferramentas da qualidade, pode conduzir-nos a resultados de grande interesse prático. Estes procedimentos ajudam-nos a identificar as causas mas também será muito importante determinar a taxa de avarias assim como a fiabilidade e disponibilidade do sistema para podermos saber se um processo está estável ou se apresenta tendência para aumentar o número ou os tempos de avarias.

As metodologias que permitam diferentes abordagens em estudos de fiabilidade podem acrescentar a vantagem de, recorrendo a diferentes ferramentas, conduzir ao cruzamento de resultados que poderão ser confrontados e, caso apontem na mesma direcção, poderão dar maior credibilidade e consistência na defesa dos valores obtidos. Contudo, é importante manter a objectividade e relevância das ferramentas escolhidas para estudar cada caso.

Adiante irão ser abordados alguns conceitos teóricos referentes ás ferramentas da qualidade, modelação estatística, fiabilidade e gestão da manutenção.

2.2 – Aplicação das ferramentas da qualidade na manutenção

2.2.1 – Registo e análise de dados

Todas as análises e cálculos que se irão realizar neste trabalho têm por base os registos de dados da manutenção, avarias dos equipamentos e processos operacionais.

Estes deverão ser recolhidos nas mesmas condições operacionais, ambientais e, na medida do possível, humanas sob pena de os pressupostos não serem os mesmos, resultando numa importante perda de confiança nos resultados quando se fizerem inferências estatísticas.

Condições operacionais:

- Tipo de operação – Não é possível comparar dados de uma operação de graneís sólidos com cargas unitizadas ou contentorizadas. Cada tipo de operação, Carga, Descarga e tipo de carga, devem ser tipificadas e classificadas dentro da sua especificidade.
- Ritmo da operação – Por vezes a operação fica condicionada, quer pelas condições da embarcação (dimensões, obstáculos, planos de carga/descarga penalizadores), quer pelas condições dos equipamentos utilizados na operação que poderão estar condicionados. Estas situações conduzem a diferenças significativas dos dados obtidos.
- Condições ambientais – As condições ambientais também influenciam significativamente os dados que se possam obter como sejam temperaturas extremas que comprometam o rendimento das máquinas, intempéries que interfiram com os sistemas eléctricos e mecânicos e até os ventos fortes que condicionam ou podem mesmo impedir uma operação. Estes factores, para além de condicionarem as operações, também contribuem para um aumento significativo do número e frequência das avarias o que é evidente em processos que decorrem essencialmente ao ar livre.
- Humanas – Embora, por norma, a operação e manutenção dos equipamentos esteja sujeita a diferentes colaboradores ou equipas, mais evidente quando se trabalha em turnos, estes deverão ter formação e competências que aproxime os níveis uns dos outros, por forma a harmonizar o desempenho de cada equipa em cada turno, por vezes pode surgir um erro operacional sistemático ou uma falha técnica frequente devido a uma má concepção do equipamento que poderá condicionar a operação e resultar em valores de fiabilidade desenquadrados da realidade do sistema.

2.2.2 - Histogramas

Os histogramas são uma ferramenta da qualidade que permite analisar e caracterizar os dados agrupando-os em classes consoante a amplitude ou grandeza das observações e que neste caso concreto também nos permite fazer uma primeira análise e caracterização da fiabilidade e manutibilidade dos equipamentos analisando, numa primeira abordagem, o comportamento estatístico dos dados recolhidos com as seguintes vantagens:

- A sua forma permite revelar a natureza da distribuição dos dados recolhidos
- A tendência central (Média) e a variabilidade são fáceis de observar.
- Os limites de especificação podem ser usados para determinar a capacidade do processo em análise.

Podemos determinar o nº de classes de caracterização dos dados da seguinte forma:

R – Amplitude das classes $R = H / K$ (2.1)

H – Amplitude das observações K – Nº de classes (2.2)

Nº de classes dos dados :

	Nº de Observações	Nº de Classes de dados
JURAN	20 – 50 51 – 100 101 – 200	6 7 8
BESTERFIELD	< 100 100 – 500 > 500	5 a 9 8 a 17 15 a 20
STURGIS	N	K = 1 + 3,322 x Log N
MONTGOMERY	N	4 e 20 ; $K = \sqrt{N}$

Tabela 2-1 Critério para determinação do Nº de classes dos dados

2.2.3 – Diagrama de Pareto (Análise ABC)

Diagrama de Pareto, ou diagrama ABC, 80-20,70-30, é um gráfico de barras que ordena as frequências das ocorrências, da maior para a menor, permitindo ver os problemas prioritários, procurando levar a cabo o princípio de Pareto (poucos essenciais, muitos triviais), isto é, há muitos problemas sem importância diante de outros mais graves. Sua maior utilidade é a de permitir uma fácil visualização e identificação das causas ou problemas mais importantes, possibilitando a concentração de esforços sobre os mesmos. É uma das sete ferramentas da qualidade.

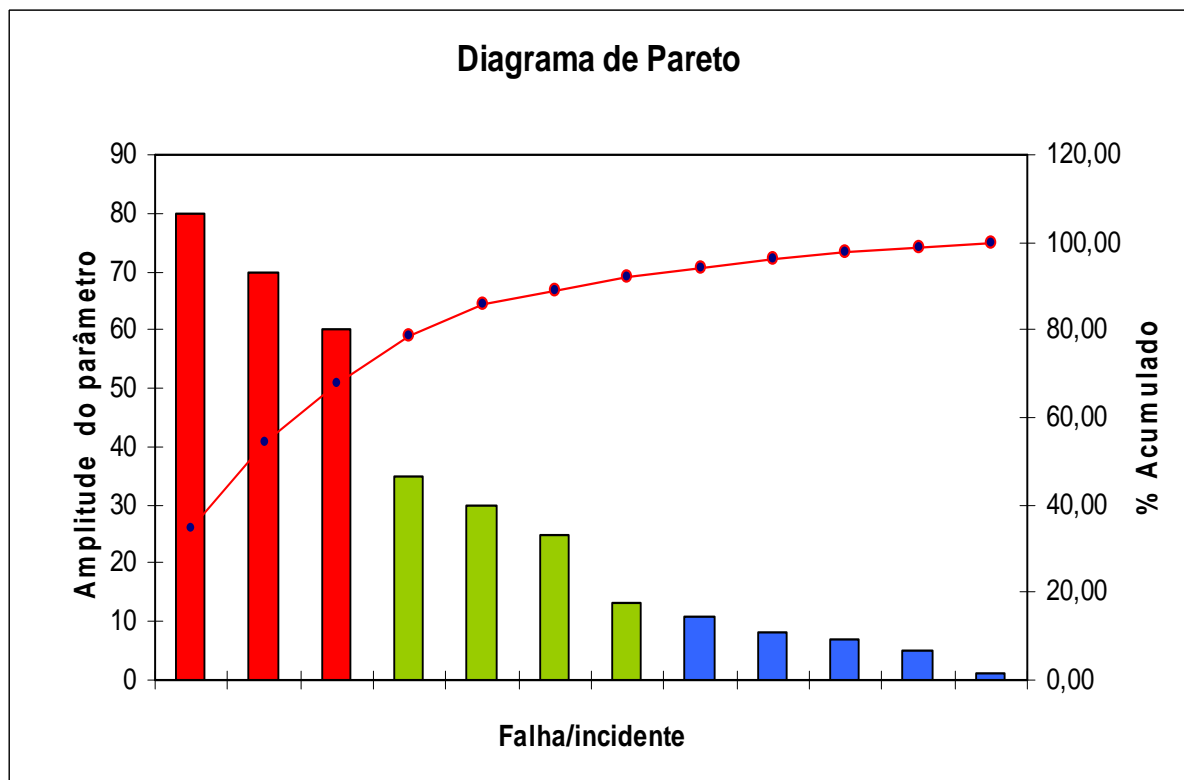



Fig - 2-1 Diagrama de barras de Pareto com curva crescente de pontos acumulados

No exemplo acima, referente ao nº de falhas de uma instalação, considera-se que as falhas a vermelho serão prioritárias para depois dar lugar às falhas a verde e por último as falhas a azul serão menos importantes para uma eventual acção correctiva.

2.2.4 – Diagrama causa-efeito

Também conhecido por diagrama de espinha de peixe (Ishikawa) tem por objectivo aumentar o conhecimento sobre o processo levando todos os participantes na sua elaboração a aprender mais sobre os factores em presença e como é que eles interagem entre si permitindo identificar de uma forma clara e abrangente as áreas em que é preciso recolher dados para aprofundar um estudo visando a resolução dos problemas.

A metodologia consiste em identificar o problema ou definir o objectivo a atingir, identificando as causas e não os sintomas que potenciam o problema.

Na indústria é vulgar designar as principais causas divididas em 6 grandes grupos chamados os 6 "M" (Materiais, Máquinas, Métodos, Mão-de-obra, Medição e Meio Ambiente) a partir dos quais se vão criando subgrupos de causas.

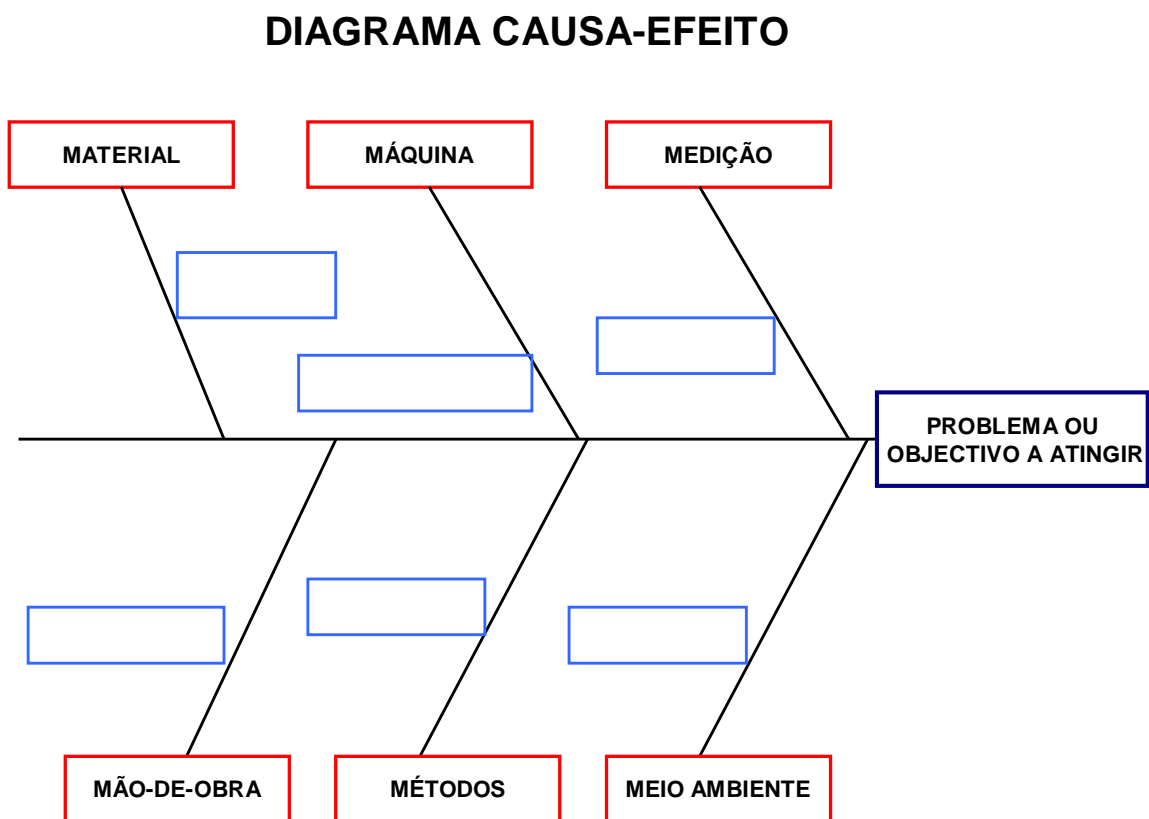



Fig - 2-2 Esquema de construção de um diagrama causa-efeito

2.2.5 – Diagramas de dispersão

Os diagramas de dispersão ou de correlação são gráficos entre duas variáveis que servem para verificar se existe alguma relação entre elas. O objectivo é estudar a causa-efeito, embora o diagrama não permita identificar qual é a causa e qual é o efeito.

Através do padrão da disposição dos pontos é possível concluir sobre a relação entre as duas variáveis que poderão ter uma correlação positiva ou negativa, conforme o declive da recta formada ou, caso os pontos se encontrem dispersos, podemos concluir que não existe qualquer correlação. A relação entre os dois parâmetros dá-nos o coeficiente de determinação que, quanto mais próximo estiver do valor 1, maior será a correlação entre os dois parâmetros em estudo.

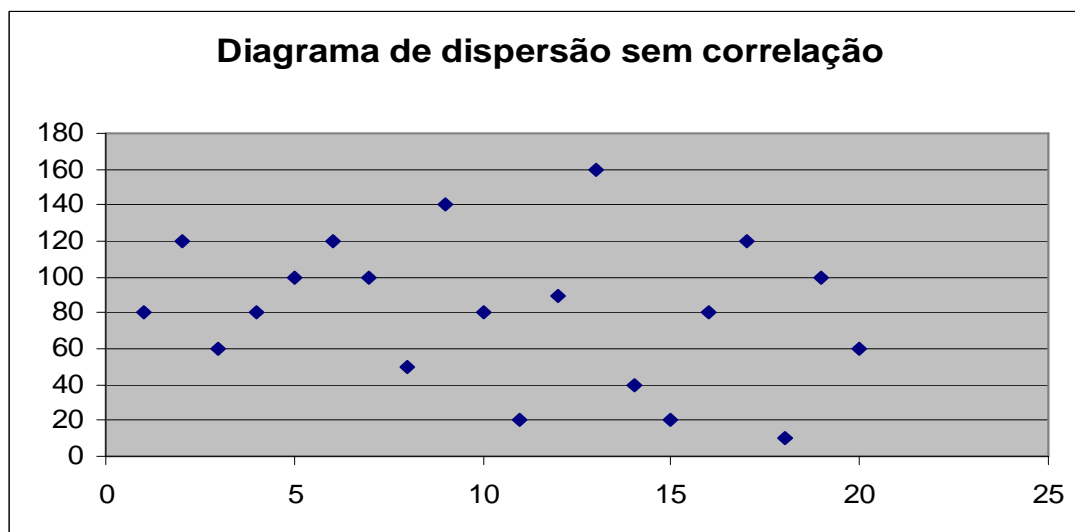



Fig - 2-3 Exemplo de um diagrama de dispersão sem correlação

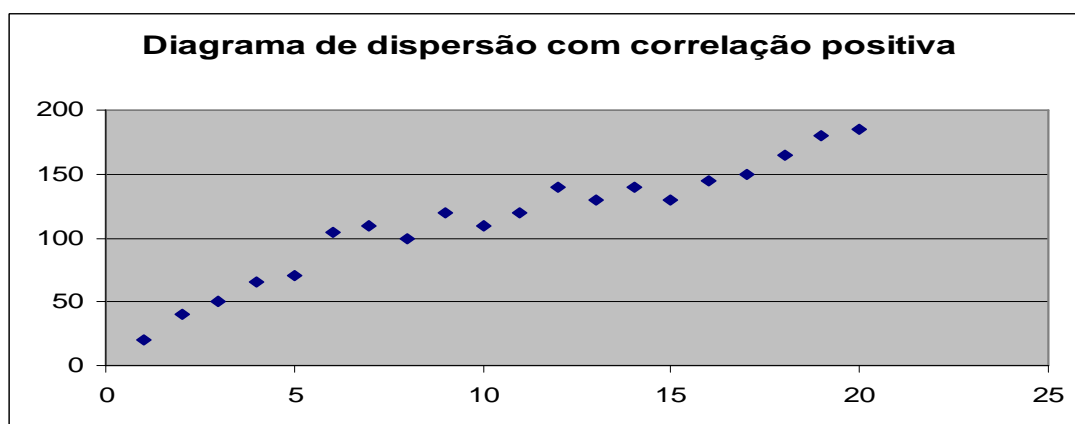



Fig - 2-4 Exemplo de um diagrama de dispersão com correlação positiva

2.2.6 – Fluxogramas

O fluxograma é um tipo de diagrama que pode ser entendido como uma representação esquemática de um processo, muitas vezes feito através de gráficos que ilustram de forma simples a transição de informações entre os elementos que o compõem. Pode ser entendido na prática, como a documentação dos passos necessários para a execução de um dado processo. É uma ferramenta da qualidade muito utilizada em fábricas e indústrias para a organização de produtos e processos mas também no planeamento dos procedimentos e rotinas em praticamente todas as áreas funcionais das organizações. Na construção dos fluxogramas o início é assinalado um círculo ou um rectângulo arredondado e utiliza-se o losango para indicar as decisões e os rectângulos com as acções a realizar, em cada losango as saídas estarão indicadas com um S ou N consoante a condição é afirmativa ou negativa. Entre as caixas as setas indicam o sentido das acções a tomar e o fluxograma é finalizado com um rectângulo arredondado. No exemplo abaixo temos um fluxograma para seleccionar o tipo de manutenção que se poderá adoptar num determinado equipamento ou componente.

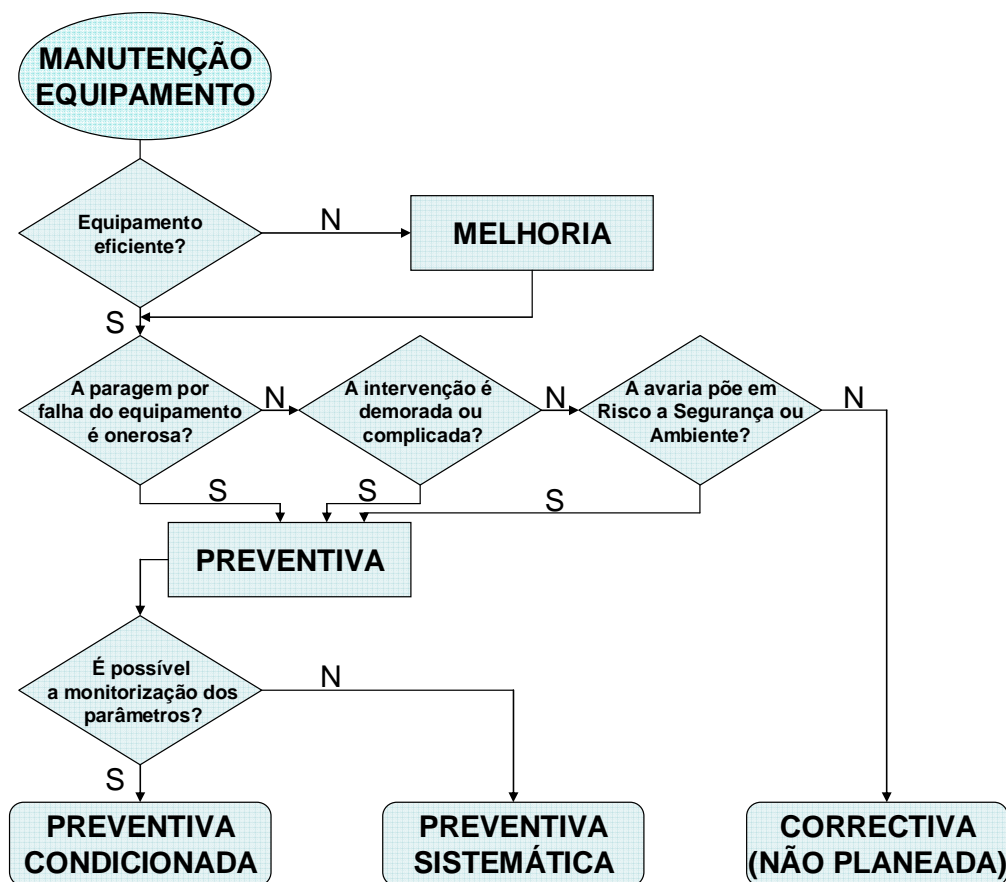



Fig - 2-5 Exemplo do fluxograma para seleccionar o tipo de manutenção que se deverá adoptar para um determinado equipamento

2.3 - Gestão de manutenção

2.3.1 – Conceitos de manutenção

- **Fiabilidade** - é a probabilidade de um elemento desempenhar uma função especificada, segundo dadas condições ambientais e operacionais, durante um período de tempo estabelecido.
- **Qualidade** - é a totalidade das características e funções de um produto ou serviço que satisfazem os desejos explícitos ou implícitos dos seus consumidores ou utilizadores dentro de determinados pressupostos económicos.
- **Disponibilidade** - é a probabilidade de um elemento, segundo condições de fiabilidade e manutibilidade definidas, realizar uma determinada função num instante de tempo, ou num período definido.
- **Manutibilidade** - é a probabilidade de um elemento, segundo condições estabelecidas de utilização, ser reparado de forma a poder realizar as funções desejadas quando a manutenção é efectuada de acordo com processos e fontes descritas.
- **MTTF (mean time to failure) –** Tempo médio de funcionamento entre falhas. Normalmente associa-se esta terminologia a sistemas não reparáveis como sejam os componentes, de um dado equipamento, sujeitos ao desgaste ou a deterioração que inviabiliza a sua recuperação.
- **MTBF (mean time between failure) –** Tempo médio de funcionamento entre falhas. Esta terminologia está focada em sistemas reparáveis, como sejam equipamentos ou sistemas mais ou menos complexos, cuja falha de cada componente instalado em série, obriga á paragem de todo o equipamento.
- **MTTR (mean time to repair) –** Tempo médio de reparação após falha. Este termo é mais utilizado em sistemas reparáveis, ou seja, equipamentos ou conjuntos de equipamentos que terão de ser sujeitos a reparação, quer por substituição quer ou por recuperação de componentes.
- **MWT (mean Waiting time) –** Tempo médio de espera entre a paragem provocada pela falha e o início da sua reparação. Este parâmetro visa essencialmente avaliar a capacidade e rapidez de resposta dos técnicos de prevenção.

2.3.2 Modelos de Fiabilidade (Sistemas Reparáveis)

2.3.2.1 – Falhas num processo de Poisson homogéneo:

O MTBF pode ser calculado por $$MTBF = \frac{Tempo \cdot de \cdot operação}{n^{o} \cdot de \cdot \ falhas} \quad (2.3)$$

E MTTR é dado por $$MTTR = \frac{\sum_{i=1}^{n} Tempos \cdot de \cdot \ paragem \cdot \ por \cdot \ falha}{n^{o} \cdot de \cdot \ falhas} \quad (2.4)$$

A disponibilidade (A) é dada por $$A = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR} \quad (2.5)$$

NOTA : A função A (t) dá-nos a probabilidade do elemento estar a funcionar no período t

A taxa de avarias é dada por

$$\lambda = \frac{d[E(N(t)]}{dt} \quad (2.6) \quad \Leftrightarrow \quad \lambda = \frac{1}{MTBF} \quad (2.7)$$

2.3.2.2 – Falhas num processo de Poisson não homogéneo:

Se o comportamento das falhas nos indicar que não se trata de um processo de Poisson não homogénio, para determinar os parâmetros de manutenção, teremos de recorrer ao modelo de Crow que nos permite testes estatísticos e a definição de intervalos de confiança. Sendo nf O nº de falhas, com um tempo de observação T e os tempos de cada falha τi :

O MTBF pode ser calculado por $$\beta * = \frac{nf}{\sum_{1}^{nf} \ln\left(\frac{T}{\tau i}\right)} \quad (2.8)$$

A taxa de avarias pode ser calculada por

$$\lambda * = \frac{nf}{T^{\beta *}} \quad (2.9) \quad \Leftrightarrow \quad \lambda(T = \tau i) = \lambda * \beta * T^{\beta - 1} \quad (2.10)$$

Sistemas reparáveis – Estatisticamente os sistemas reparáveis são aqueles que após cada falha, são reparados para total desempenho da sua função até à próxima avaria (Dias, 2002). Normalmente associa-se um sistema reparável a um equipamento sujeito às várias avarias de cada um dos seus componentes independentes. Os componentes que são substituídos após cada falha podem-se considerar como **sistemas não reparáveis**, uma vez que normalmente cada componente é sujeito à sua substituição por um novo que irá repetir o seu ciclo de vida.

2.4 – Estatísticas da gestão da Manutenção

2.4.1 - Fundamentos teóricos da distribuição de Weibull

A distribuição de Weibull é uma função estatística cuja função contínua da densidade probabilidade de uma variável aleatória assumindo que o parâmetro de localização é 0 e x≥0 é dada por:

$$f(t;\beta;\eta) = \{\frac{\beta}{\eta}.(\frac{t}{\eta})^{\beta-1}.\ell^{-(\frac{t}{\eta})^{\beta}} \qquad (2.11)$$

A distribuição de Weibull é usada com frequência no campo da análise de dados sobre o tempo de vida e longevidade de um determinado objecto de estudo. Pode estudar o comportamento da longevidade ou outro parâmetro de uma população alvo (**Dias**, 2007). Quando existe uma relação entre a função de risco, fiabilidade e tempo médio para falhar um componente, utiliza-se o modelo estatístico da distribuição de Weibull para descrever o tempo t até à falha.

A distribuição de weibull caracteriza-se por 3 parâmetros:

- η- Parâmetro de Escala ou vida característica
- β-Parâmetro de Forma
- t - Parâmetro de localização (vida mínima) que normalmente aplica-se o zero por considerarmos que não existe duração mínima nos componentes em estudo.

Esta distribuição pode ter um comportamento semelhante a outras distribuições estatísticas como a Normal e a exponencial, conforme a taxa de avarias.

Na figura seguinte (Fig – 2-6) temos a relação entre os vários casos notáveis das distribuições estatísticas de onde se pode obter os diferentes valores do parâmetro de forma β relacionando-o com a distribuição estatística aplicável.

2.4.1.1 - Função densidade probabilidade:

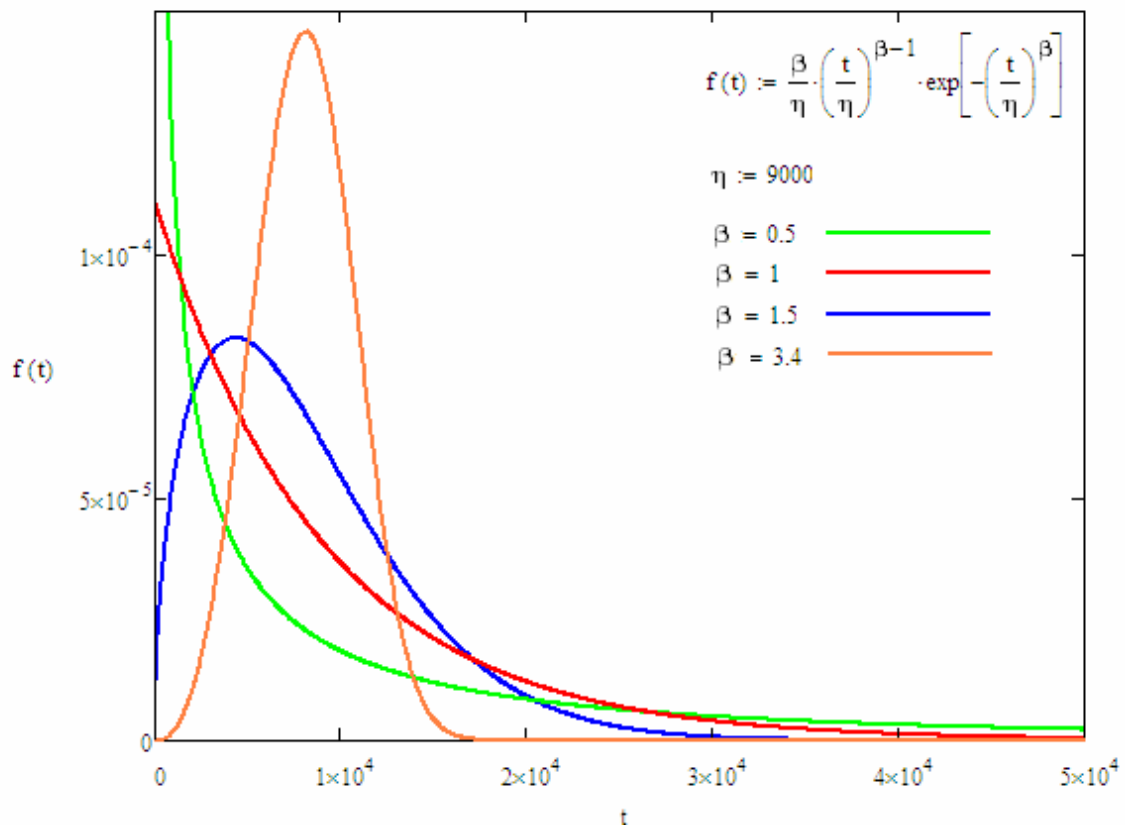



Fig - 2-6 Curvas da função densidade probabilidade para os diferentes parâmetros de forma (β) da distribuição de weibull

Mantendo o parâmetro de Escala constante (η) e variando o parâmetro de forma (β) consegue-se obter alguns casos notáveis da função densidade probabilidade em que para β=1 obtemos uma distribuição exponencial negativa e para β=3,4 obtemos uma distribuição aproximadamente normal. A distribuição de Weibull é a mais adequada em estudos de duração de equipamentos ou respectivos componentes.

2.4.1.2 – Função de risco

A função de risco será dada por (Dias, 2007):

$$h(t) = \frac{f(t)}{R(t)} = \frac{\frac{\beta}{\eta}.(\frac{t}{\eta})^{\beta-1}.\ell^{-(\frac{t}{\eta})^{\beta}}}{-\ell^{\left(\frac{t}{\eta}\right)^{\beta}}} \tag{2.12}$$

Comportamento da taxa de avarias com a função de risco h(t):

- Se a taxa de falhas aumenta no tempo então β > 1 e sugere que temos um desgaste que se acentua com o tempo o que vai provocar um aumento na taxa de avarias.
- Se a taxa de falhas decresce no tempo então β <1 o que quer dizer que estamos perante a chamada mortalidade infantil em que a taxa de falhas é maior no início para depois ir diminuindo ao longo do tempo provavelmente resultado da rodagem, habituação ou experiência;
- Se a taxa de falhas se mantêm ao longo do tempo então β = 1 o que quer dizer que estamos perante uma distribuição exponencial e que as falhas ocorrem de eventos perfeitamente aleatórios;
- Se β = 3,4 então estamos perante uma distribuição similar à distribuição normal e que as falhas ocorrem de eventos perfeitamente aleatórios.

Resumidamente, verifica-se que a função de risco aumenta quando β>1 e diminui quando 0<β<1

2.4.2 Função Fiabilidade

A função da Fiabilidade é:

$$R(t;\beta;\eta) = -\ell^{\left(\frac{t}{\eta}\right)^{\beta}} \tag{2.13}$$

2.4.3 - Probabilidade com função de risco crescente.

$$c(t) := \frac{cf \cdot (1 - R(t)) + cp \cdot R(t)}{t \cdot R(t) + \int_0^t t \cdot f(t)\, dt} \qquad (2.14)$$

Se o custo total envolvido na manutenção preventiva for cp e o custo total envolvido na manutenção correctiva for cf o custo de manutenção será:

$$cf * F(t;\beta;\eta) + cp * R(t;\beta;\eta) \qquad (2.15)$$

- Se a substituição preventiva for efectuada para um tempo de vida t a média da distribuição truncada em t será M(t):

$$M(t) = \frac{\int_0^t t * f(t;\beta;\eta)dt}{f(t;\beta;\eta)dt} \qquad (2.16)$$

O tempo ao fim do qual se deveria proceder à manutenção preventiva sem considerar os custos associados a esta operação será:

$$t * R(t) + \int_0^t t * f(t;\beta;\eta)dt \qquad (2.17)$$

O valor de t correspondente ao custo óptimo de cada intervenção de manutenção preventiva poderá ser obtido pelo método iterativo de Newton-Raphson para determinar o custo óptimo para a duração de t (c(t)):

$$c(t) = \frac{Cf * F(t;\beta;\eta) + Cp * R(t;\beta;\eta)}{tp * R(t) + \int_0^{tp} t * f(t;\beta;\eta)dt} \qquad (2.18)$$

$$c(t) = \frac{d[C(t)]}{dt} = 0 \qquad (2.19)$$

2.5 – Teste de Hipóteses

Existem duas grandes áreas da estatística que são estatística descritiva inferência estatística (Pereira e Requeijo, 2009):

- Estatística descritiva – permite agrupar de forma simples a informação contida num determinado conjunto de dados recorrendo a tabelas, gráficos ou medidas que expressem adequadamente a informação disponível através dos dados de uma amostragem sobre o comportamento de um processo ou equipamento. Os métodos da estatística descritiva permitem expressar de forma quantitativa a variação desse comportamento.

- Inferência estatística – As distribuições de probabilidade que relacionam matematicamente os valores de uma característica ou variável, com a probabilidade de ocorrência desses valores, numa dada população, são definidos por vários parâmetros que muitas vezes não são conhecidos.

2.5.1 – Descrição do teste de hipóteses

O teste de hipóteses é um método de inferência estatística que permite verificar, a partir dos resultados obtidos de uma amostra, se uma determinada hipótese feita sobre uma população, ou várias populações, deve ou não ser rejeitado.

- A hipótese que se pretende testar é a hipótese nula (Ho), a qual contém sempre uma igualdade na sua formulação. Assume-se que a hipótese é verdadeira ao longo do teste, até que haja uma evidência estatística que permita rejeitá-la. Esta rejeição é baseada numa estatística de teste adequada ao caso em análise ou os dados.
- A hipótese alternativa (H1) é uma afirmação que constitui alternativa à hipótes nula. A rejeição da hipótese nula reforça a validade da hipótese alternativa que contém sempre uma desigualdade na sua formulação, como seja diferente, maior ou menor o que para o primeiro caso implica que o teste será formulado como bilateral, enquanto nos restantes casos será unilateral quando for formulado como maior ou menor.

2.5.2 – Etapas do teste de hipóteses

Na elaboração de um teste de hipóteses, deverão ser seguidos os seguintes passos:

i) Especifica-se a Hipótese nula (Ho) e a Hipótese alternativa (H_1).

ii) dentro da hipótese feita, identifica-se a estatística de teste e caracteriza-se a sua distribuição.

iii) Especifica-se um determinado nível de significância α, geralmente pequeno, e define-se a regra da decisão onde se vai indicar a região de rejeição ou região crítica e a região complementar de não rejeição.

NOTA : A região de rejeição é definida pelo conjunto de valores da estatística de teste que conduzem à rejeição de Ho. A região ou intervalo de não-rejeição pode ser bilateral ou unilateral.

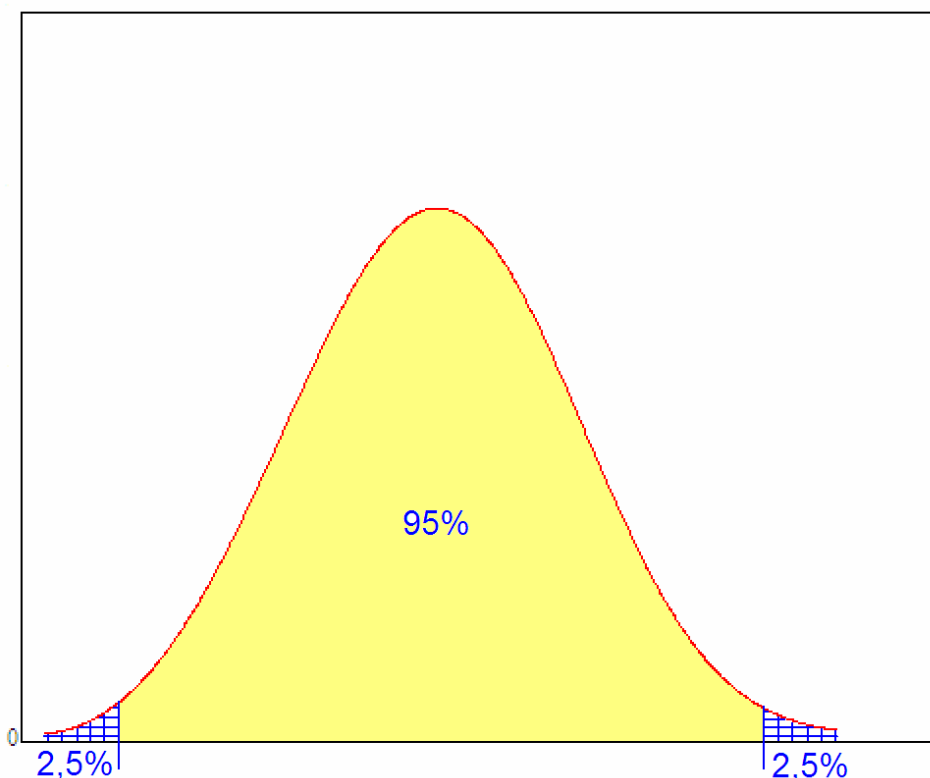



Fig - 2-7 Área de não rejeição (sombreado) de Ho, da distribuição normal reduzida, para um intervalo de confiança de 95% num teste bilateral.

2.5.3 - Aplicação do teste de hipóteses à fiabilidade

Podemos aplicar o teste de hipóteses à fiabilidade (teste de Laplace) de um sistema para verificar se a taxa de avarias é constante ou apresenta tendência (Dias, 2007).

No teste de hipóteses se o resultado verificado for um valor negativo fora do intervalo, indica que estamos na presença de um Processo de Poisson Não Homogéneo com taxas de falha decrescentes.

Se o resultado verificado for um valor positivo fora do intervalo, indica que estamos na presença de um Processo de Poisson Não Homogéneo com taxas de falha crescentes.

2.5.4 - Teste de Laplace

O Teste de Laplace – Permite testar, através de um teste de hipóteses, se a taxa de avarias é constante ou apresenta tendência.

Para que não se rejeite H_0, o valor de Zo terá de corresponder a uma probabilidade dentro da área central da curva de Gauss correspondente ao intervalo de confiança a que se atribuiu ao teste de Hipóteses. Na aplicação do teste de Laplace, como em boa parte dos testes de hipóteses é normal utilizar um nível de significância de α=5%, que corresponde a um nível de confiança de 95%.

Ho: Hipótese nula – A taxa de avarias é PPH

H_1: Hipótese alternativa – A taxa de avarias não é PPH

PPH – Processo de Poisson Homogéneo

Zo – Estatística de teste

τ – Idade do sistema no momento da falha

T – Tempo de observação do sistema

nf – nº de Falhas

$$Zo = \sqrt{12 * nf} * \left[\frac{\sum_{i=1}^{nf} \tau i}{nf * T} - 0,5 \right] \tag{2.20}$$

2.6 – Classificação dos tipos de manutenção

No planeamento da manutenção é importante classificar o tipo de intervenção que se pretende atribuir a um dado equipamento que pelas suas características técnicas, tempo de utilização, custo do imobilizado ou criticidade, poderá ser caracterizada por uma destas metodologias de manutenção ou a combinação de várias para manter o equipamento em funcionamento ao mais baixo custo de exploração. Foi definida uma classificação da manutenção (**Cabral**, 2006) consoante a forma como os trabalhos são abordados:

2.6.1 - Manutenção preventiva – Uma boa manutenção preventiva consiste na determinação dos intervalos de tempo ideais que se traduzam na optimização do tempo de vida útil dos componentes ou equipamentos. A preventiva tem grande aplicação em instalações ou equipamentos cuja falha pode provocar catástrofes ou riscos ao meio ambiente; sistemas complexos e/ou de operação contínua.

Existem dois tipos de manutenção preventiva:

- Preventiva sistemática – assume que as falhas ocorrem segundo o padrão da curva da banheira, pelo que os trabalhos são realizados obedecendo a um planeamento baseado em intervalos definidos pelo tempo de funcionamento que permita que os componentes se mantenham em funcionamento dentro dos padrões estipulados para o equipamento, reduzindo as falhas ou reduções no desempenho.

- Preventiva condicional – Nos equipamentos ou componentes que pela sua criticidade, custo, importância ou perigosidade se tenha de acompanhar periodicamente a sua condição de trabalho a fim de se precaver qualquer falha em funcionamento ou permitir um planeamento rigoroso do período das intervenções, recorre-se a meios de vigilância e monitorização dos parâmetros dos equipamento, como sejam a temperatura, rotação ou vibrações. É uma manutenção que, por vezes, tem custos elevados e técnicas mais complexas de diagnóstico das condições dos equipamentos, mas que podem evitar prejuízos incalculáveis num processo. Permite prever o fim de vida de alguns componentes ou detectar alguma avaria que se esteja a desenvolver podendo evitar uma acção correctiva com os custos associados a uma paragem imprevista.

2.6.2 - Manutenção correctiva – É a correcção da falha ou perda do desempenho de um dado equipamento que normalmente acontece de forma súbita. Este tipo de manutenção geralmente implica custos elevados, pois causa perdas de produção e a extensão dos danos nos equipamentos é maior.

Em algumas indústrias adopta-se a correcção das falhas aleatórias em determinados equipamentos em funcionamento, ou seja a falha imprevista não inviabiliza o bom desempenho da instalação, é rápida a correcção da falha e não compromete a segurança. Contudo, a regra deverá sempre privilegiar a preventiva salvaguardando alguns casos em que os estudos comprovem que a correctiva poderá ser mais económica e não comprometam a segurança das pessoas e bens. Quando em determinada instalação, só existe manutenção correctiva, diz-se que a manutenção é comandado pelos equipamentos.

2.6.3 – Manutenção de melhoria - é o conjunto de actividades que permite melhorar a fiabilidade e a disponibilidade. Em vez de passarmos o tempo a reparar equipamentos, convivendo com os problemas crónicos, procura-se melhorar o comportamento dos equipamentos, desenvolvendo técnicas, alterações ou melhorias ao projecto que permitam melhorar a fiabilidade, a eficiência da produção, a qualidade e promover a redução dos consumos de energia e matéria-prima. São bons exemplos de manutenção de melhoria a automação das instalações, a lubrificação centralizada, a utilização de componentes anti-desgaste alternativos ou ainda as modificações no projecto.

Como resultado da ocorrência de falhas sistemáticas ou de manutenções preventivas muito frequentes e exigentes em termos da disponibilidade, torna-se relevante que os responsáveis procurem ideias que permitam melhorar os equipamentos ou, caso tal não seja tecnicamente possível, ponderar a sua substituição por outros melhores ou renovar o sistema produtivo.

- **NOTA:** Normalmente quem está, absorvido pela manutenção correctiva, não terá tempo para fazer um eficiente planeamento da gestão da manutenção ou estudar melhorias. Apenas terá tempo para continuar realizando reparações constantemente nos equipamentos convivendo com péssimos resultados e limitando-se a ser um trocador de peças.

3 – Descrição da Instalação Portuária

3.1 – Introdução

No capítulo anterior foram abordados os conceitos teóricos e toda a pesquisa bibliográfica em que os capítulos 4 e 5 se irão basear. Este trabalho incide sobre os equipamentos de movimentação e manuseamento de granéis sólidos da instalação portuária que são descritos ao longo deste capítulo.

Numa instalação com características tão particulares, como sejam a sazonalidade das operações, a elevada automação dos equipamentos, a taxa de ocupação dos equipamentos em cerca de 1/3 do tempo total ao ano, torna-se interessante verificar como os dados esperados ou previstos efectivamente se comportam como o esperado ou se, pelo contrário, como a instalação tem particularidades no seu modo de funcionamento, os dados e análises realizadas conduzem a valores que terão de ser explicados de outra forma ou com pressupostos que não se tiveram em conta numa fase inicial.

A instalação que queremos estudar, recorrendo às ferramentas da qualidade e da fiabilidade e gestão da manutenção é constituída essencialmente pelos seguintes equipamentos principais :

- 2 descarregadores (pórticos) de 42 tons de elevação e uma capacidade máxima de descarga de 2000 tons/h com Baldes do tipo concha de 27m3.
- Uma rede de transporte de carvão composta por 22 transportadores de correia e 12 torres de transferência.
- 2 Máquinas combinadas Stacker-reclaimer cuja capacidade de empilhamento e retoma é respectivamente de 4000 e 2000 tons/h.

3.2 – Descrição da Empresa e enquadramento económico

A empresa Portsines S.A. explora o Terminal Multipurpose de Sines em regime de concessão tendo por objectivo a exploração do Terminal *Multipurpose* do porto de Sines.

O Terminal *Multipurpose* surge com a necessidade de construir um terminal para descarregar o carvão de Navios de grande porte com capacidade de abastecer as centrais termoeléctricas a carvão de Sines e do Pego. Embora o principal objectivo deste Terminal seja o abastecimento de carvão para as Centrais termoeléctricas, um segundo objectivo recai sobre a possibilidade de, para além da movimentação de carvão, dotar o terminal com uma infra-estrutura para a movimentação de carga geral unitizada, contentorizada e outros granéis pelo que este Terminal está inserido no Porto de Sines como o Terminal de sólidos.

O Terminal Multipurpose foi equipado com as infra-estruturas terrestres e equipamentos, para responder às necessidades crescentes de descarga, armazenamento e expedição do carvão para Centrais Térmicas, quer por transportador directo até à Central de Sines, quer por comboio e camião para a Central do Pego e ainda fornece carvão para algumas cimenteiras, embora em quantidades bastante inferiores, e tem capacidade de movimentação de outras cargas e granéis recorrendo a equipamentos próprios.

- A actividade foi iniciada em 1 de Maio de 1992, ficando o terminal a dispor da capacidade de descarga directa de carvão para a Central de Sines, através de um transportador de correia directo, e o armazenamento e carregamento de comboios com carvão para a Central do pego.

- Numa segunda fase de projecto, em 1994 o Terminal foi equipado com uma máquina de empilhamento e retoma do Carvão distribuído em dois parques o que permitia aumentar o armazenamento em parque para posterior expedição para as Centrais, pelas vias referidas no ponto anterior.

- Numa terceira fase concluída em Setembro de 1997 foi instalada uma segunda máquina de empilhamento e retoma do Carvão, distribuído em três parques com capacidade para mais de meio milhão de toneladas, e ainda um equipamento de carregamento de Navios de pequeno porte com granéis sólidos.

- Em finais de 2000 o terminal ficou equipado com um cais de carga geral e passou a poder movimentar, carregar e descarregar carga unitizada, fraccionada, contentorizada, Roll-on Roll-off e outros granéis, recorrendo a equipamentos móveis de Cais como gruas, tremonhas, transportadores móveis e ainda máquinas móveis diversas.

•

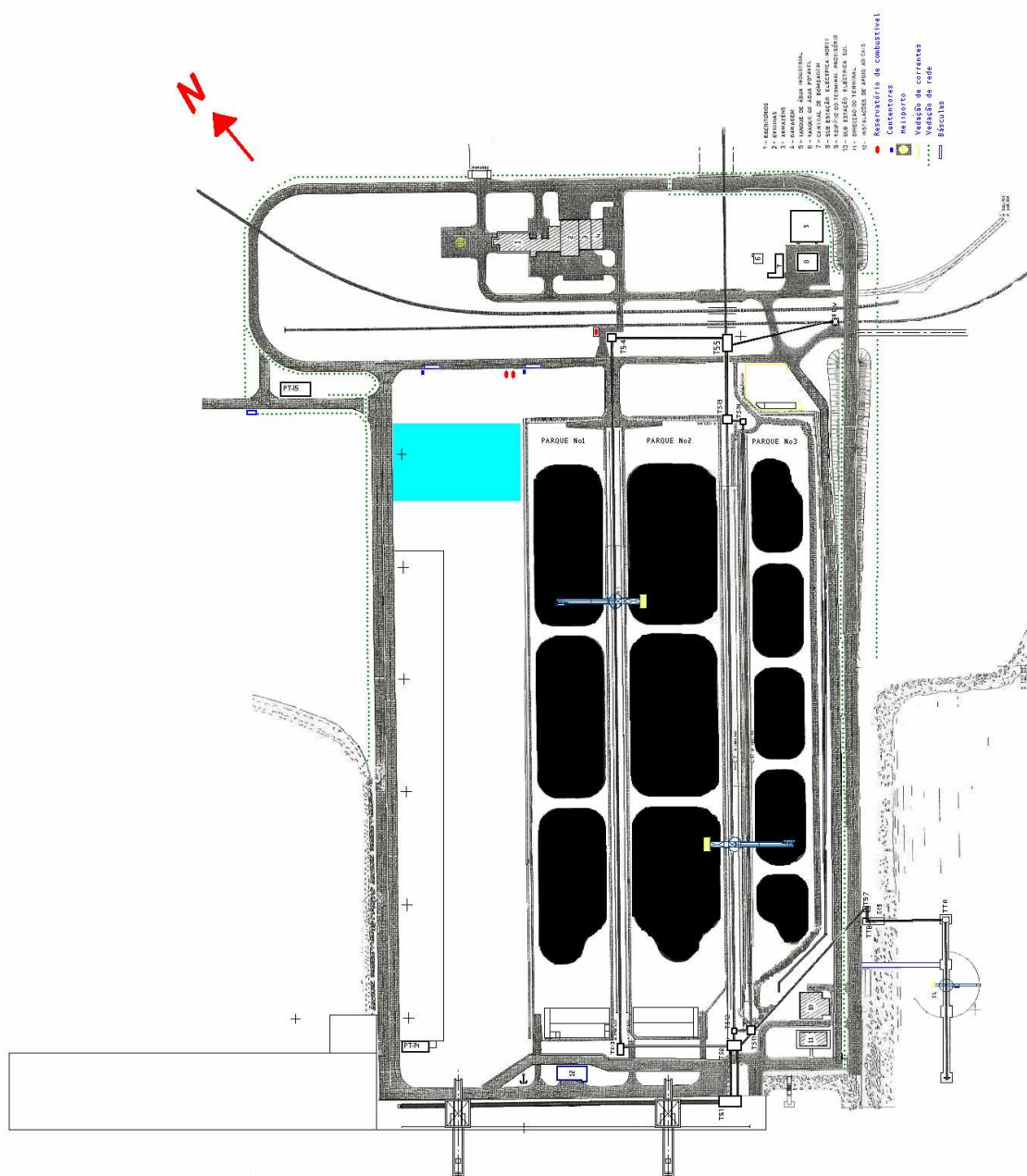



Fig - 3-1 - Layout do Terminal Multipurpose de Sines

O TMS ocupa uma área de cerca de 35 hectares e tem mais de 1 km de cais de águas profundas com fundos cujo ZH predominante ronda os 18 metros.

3.2.1 – Descrição do processo de descarga

O processo de descarga do Carvão de Navios de grande porte é a operação mais relevante da instalação portuária, que consiste em descarregar um navio, utilizando os dois pórticos equipados com baldes mecânicos tipo concha de 27m3, que escavam o produto directamente dos porões dos Navios e o descarregam para uma tremonha que vai alimentar uma rede de transportadores de correias de borracha que, depois de ser transportado através de vários itinerários, irá ser depositado em parque ou seguirá directamente para a Central Termoeléctrica de Sines. O Carvão depositado em parque será posteriormente retomado, utilizando com uma das duas máquinas de parque, para a Central termoeléctrica de Sines por transportador ou para um silo de carregamento de vagões, onde o carvão será expedido por comboio para a Central Termoeléctrica do Pego.

Este trabalho irá incidir essencialmente sobre o processo de descarga de navios de carvão que representam mais de 90% do total das cargas movimentadas anualmente.

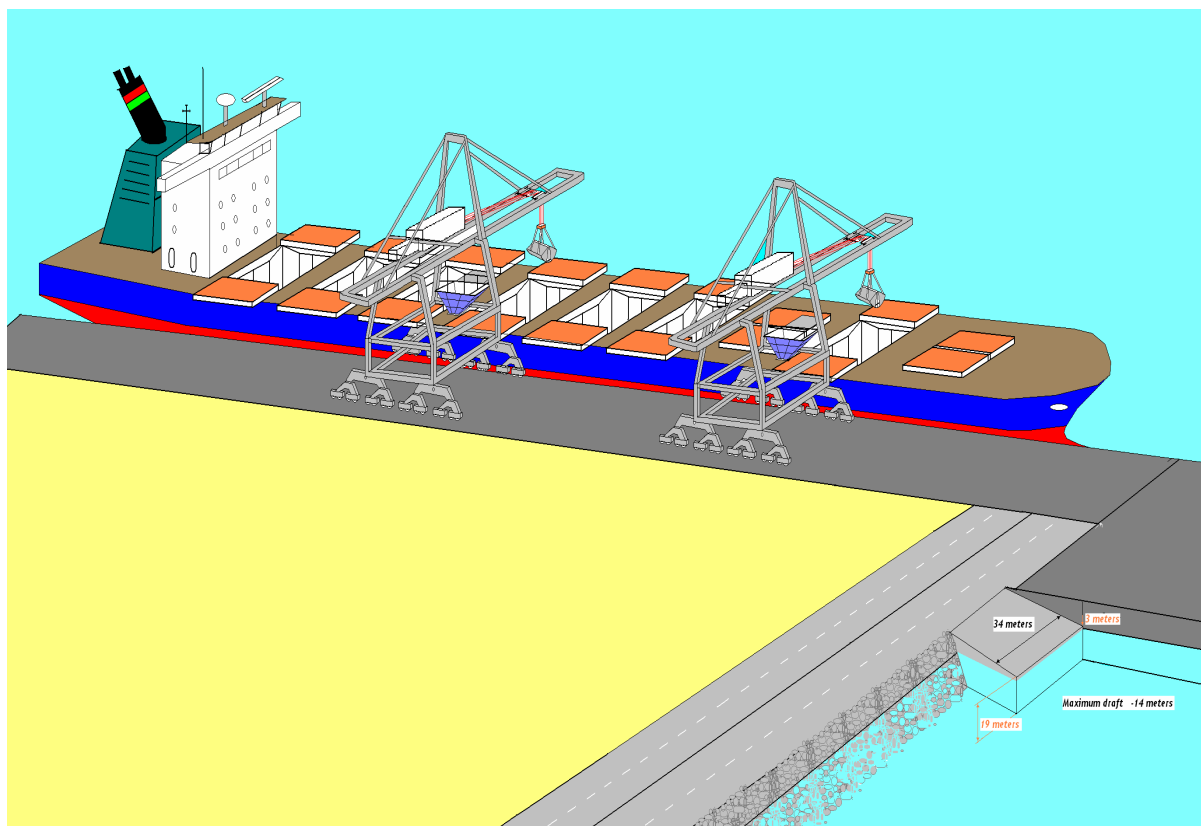



Fig - 3-2 – Esquema da descarga de um Navio com dois descarregadores

3.2.2 – Infra-estrutura Portuária

O Terminal tem a seguinte infra-estrutura portuária de Cais:

- 1 Cais de descarga de carvão com 340 metros, fundos ZH de 18 metros e permite a atracação e descarga de navios graneleiros de grande porte com DWT a partir das 60.000 Tons de DWT (Panamax Size) até aos 180.000 Tons DWT (Capesize).
- 1 Cais de carga geral com 310 metros, fundos ZH de 18 metros e permite a atracação de qualquer embarcação até 180.000 Tons de DWT.
- 1 Cais de carga geral com 250 metros, fundos ZH de 15 metros e permite a atracação e de qualquer embarcação até 180.000 Tons de DWT.
- 1 Cais em rampa, com 34 metros largura, fundos ZH de 15 metros e permite a atracação aproada de Navios com porta de proa que permita a circulação de viaturas equipadas com rodas em sistema de Roll-on Roll-off.
- 1 Cais, com 150 metros, fundos ZH de 12 metros, para carregamento de granéis em Navios até 30.000 Tons DWT com um carregador automático de Navios (Shiploader).

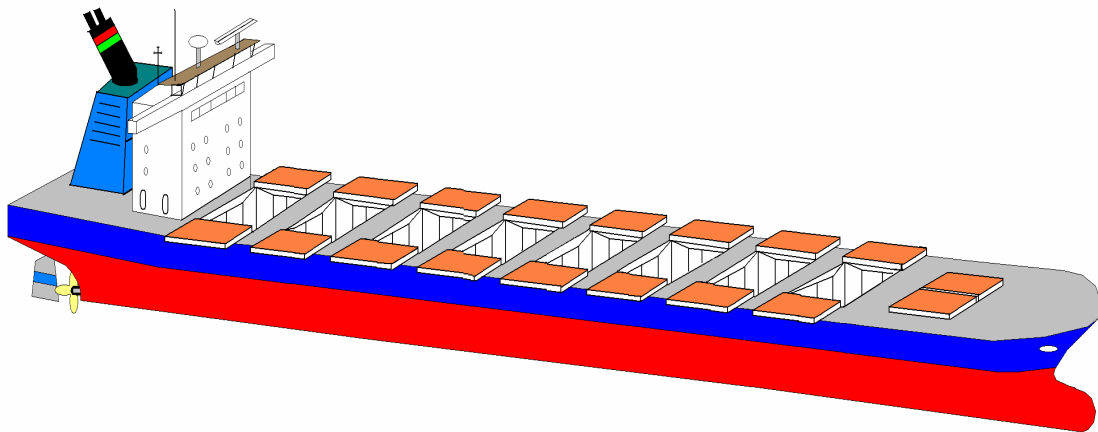



Fig - 3-3 Navio Capesize standart

Um Navio graneleiro Panamax tem a boca máxima que lhe permite atravessar o Canal do Panamá. Os Navios Capesize, têm esta designação porque as suas dimensões não lhe permitirem passar nos canais da Suez ou do Panamá, sendo obrigados a contornar os cabos Horn e o da Boa Esperança, estas embarcações têm, em média, as seguintes dimensões:

- Death Weigth tonnage - Aproximadamente 150.000 Tons
- Comprimento - Aproximadamente 300 metros
- Boca (Largura) - Aproximadamente 45 metros
- Calado (profundidade) - Aproximadamente 18 metros
- Nº Porões - 9

3.2.3 - Enquadramento no sistema energético Nacional

O TMS descarrega anualmente, em números generalistas, cerca de 3 Milhões de toneladas de carvão para a Central Termoeléctrica de Sines, 1.5 Milhões de toneladas de carvão para a Central Termoeléctrica do Pego e ainda descarrega cerca de 200 Mil toneladas de carvão para as Cimenteiras. As Centrais Termoeléctricas totalizam 6 grupos geradores com potência bruta de 314 MW o que perfaz uma emissão térmica de cerca de 15.000 Gwh/ano representando cerca de 30% de toda a produção energética em Portugal Continental.

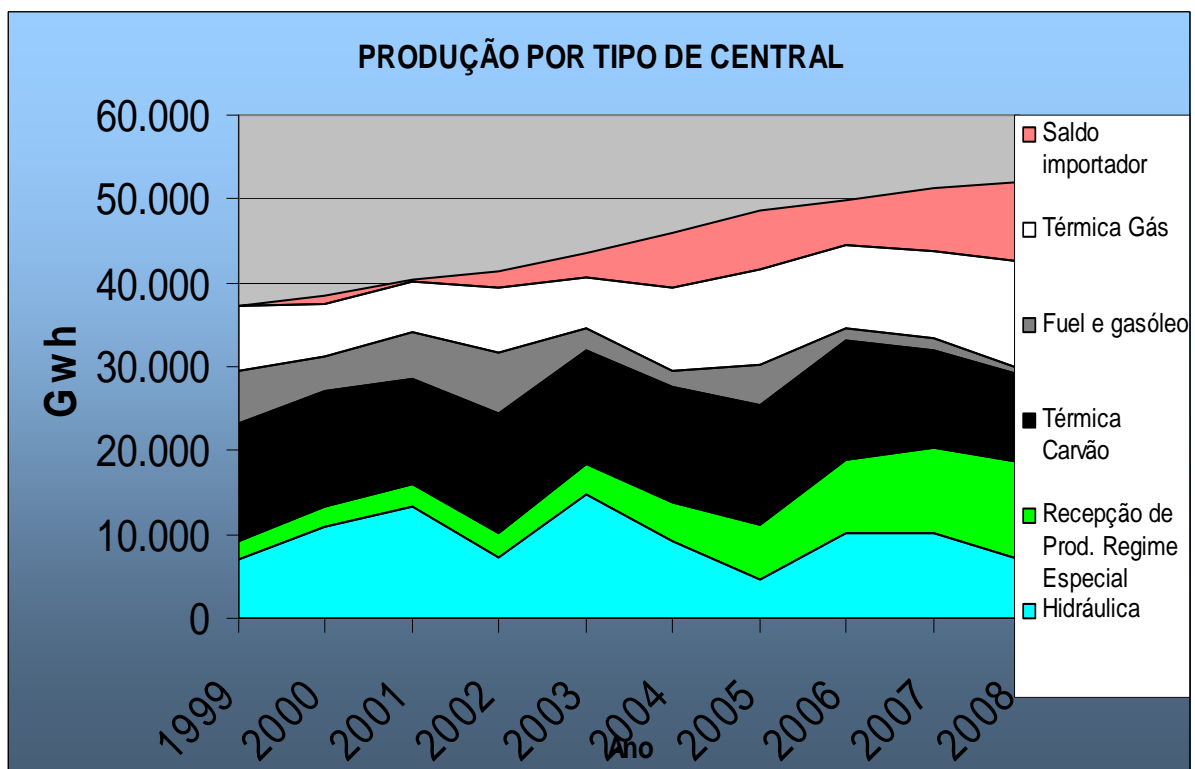



Fig - 3-4 - Produção energética por tipo de emissão entre 1999 e 2008

Podemos ver no gráfico acima que a tendência dos últimos anos aponta para um aumento das importações da energia nuclear vinda de Espanha e França em detrimento da produção Térmica a Fuel e gasóleo. A emissão hídrica depende das condições climatéricas em termos da pluviosidade anual.

A recepção de produção em regime especial não é só proveniente das renováveis como a eólica e solar, mas também das mini-hídricas exploradas por particulares.

O peso da energia térmica do Carvão continua a ser elevado, embora a política energética tenha tendência a desviar esta produção energética para o GNL e aproveitar ao máximo a energia das renováveis e hídrica. Segundo o Ministério da Economia, em 2020 a produção energética Nacional será distribuída por 20% de renováveis, 40% para as Hídricas e 32% para GNL, ficando a produção térmica a carvão com apenas 8% da produção total.

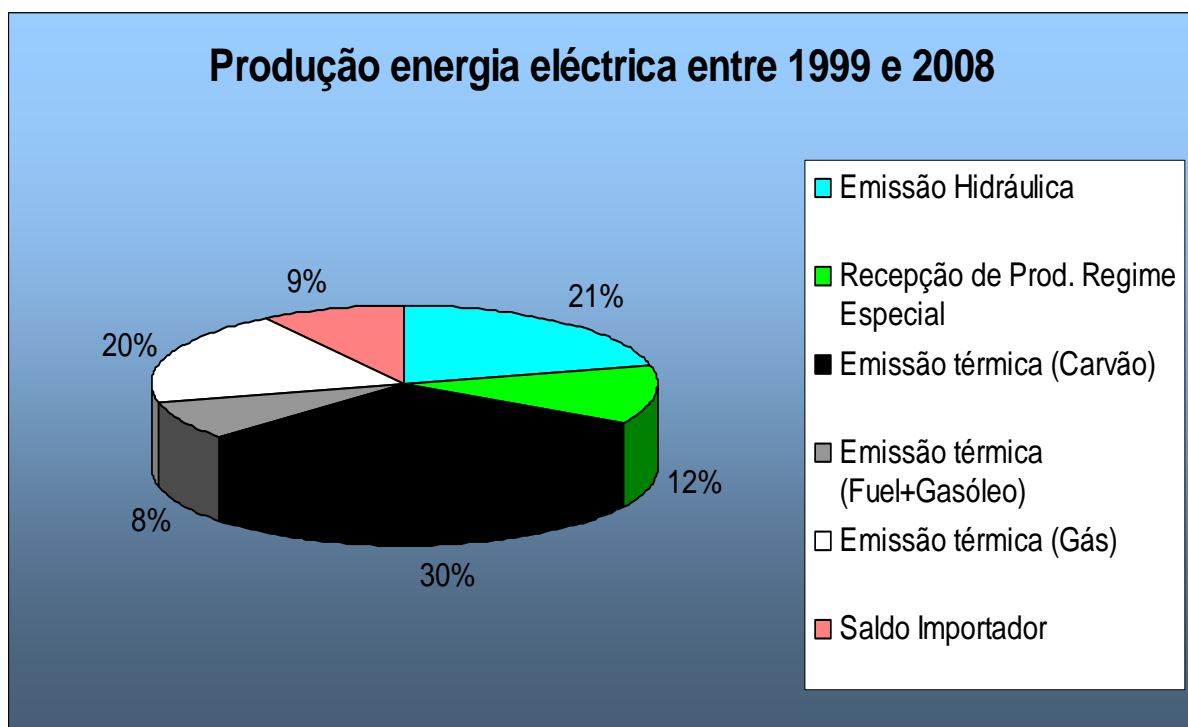



Fig - 3-5 – Produção energética percentual por tipo de emissão entre 1999 e 2008

Neste gráfico podemos verificar a evolução das importações de carvão em Portugal onde se pode verificar uma redução significativa no ano de 2008:

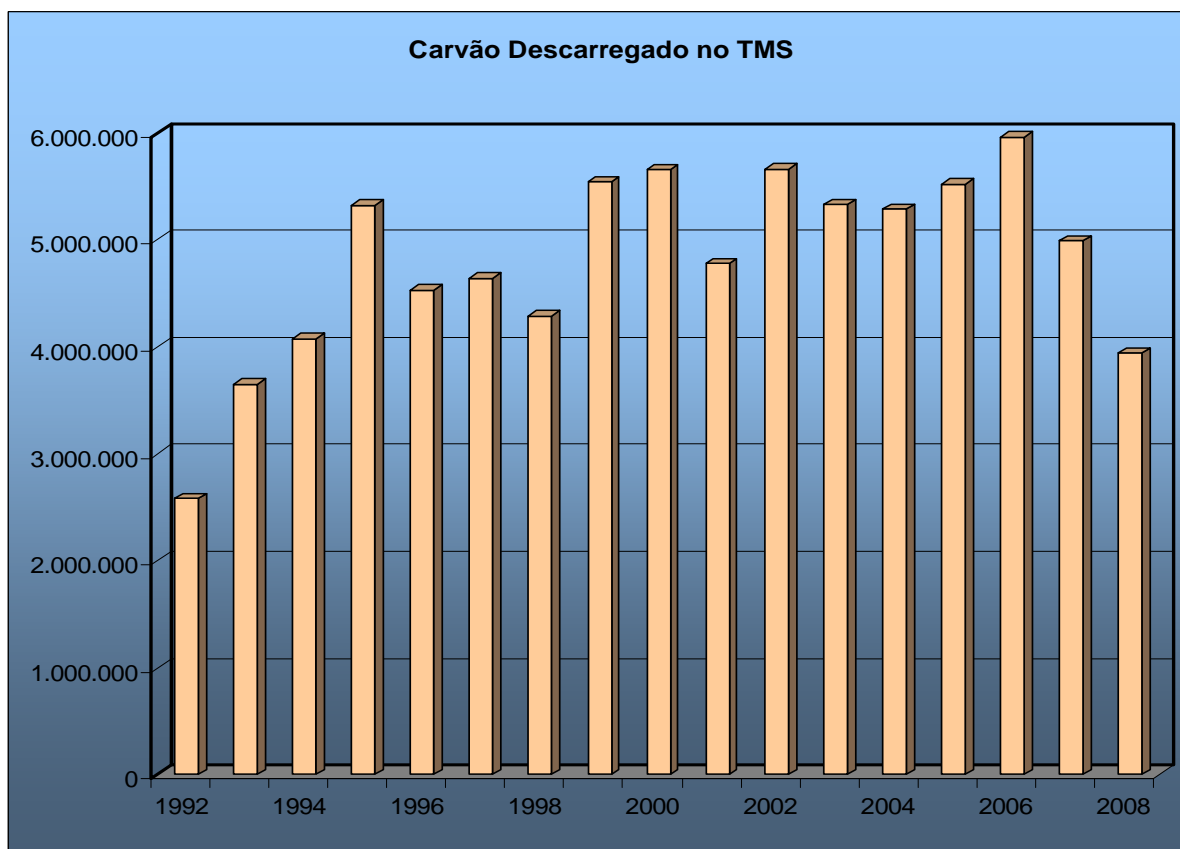
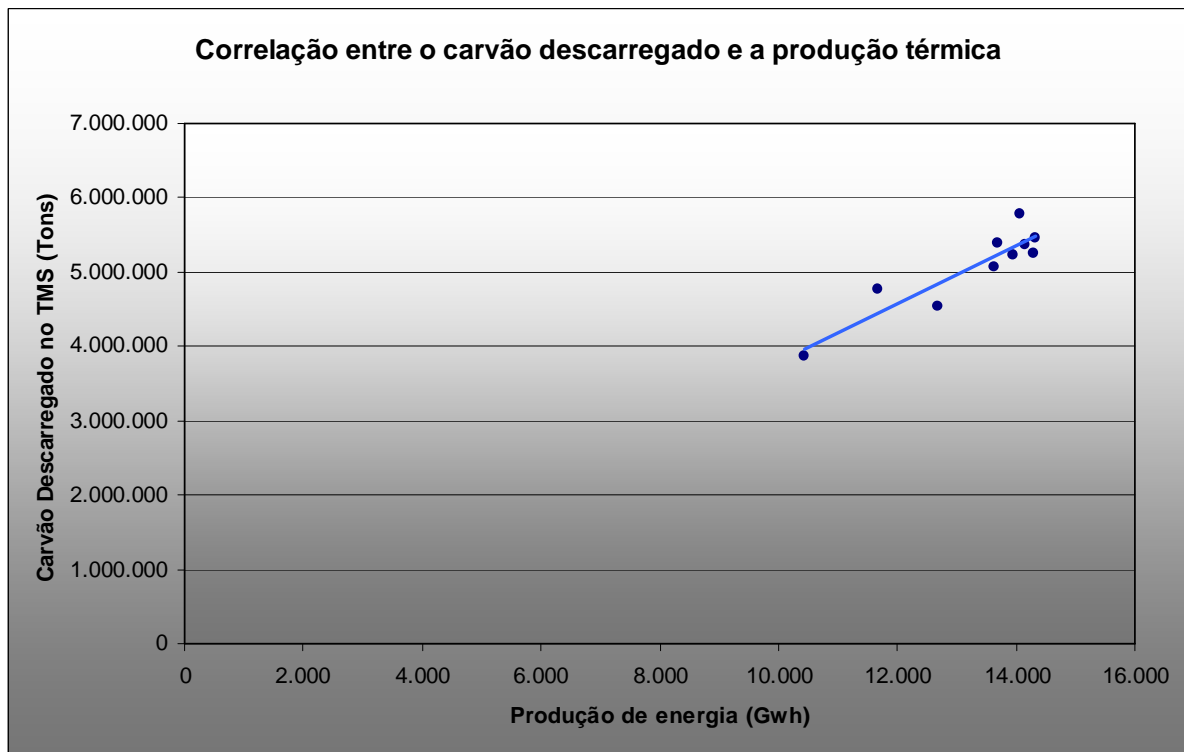



Fig - 3-6 – Evolução do carvão importado

ANO	**1999**	**2000**	**2001**	**2002**	**2003**	**2004**	**2005**	**2006**	**2007**	**2008**
Gwh	**14.142**	**13.690**	**12.699**	**14.326**	**13.641**	**13.952**	**14.291**	***14.070***	**11.663**	**10.423**
Tons	**5.363.269**	**5.395.636**	**4.526.087**	**5.461.152**	**5.072.071**	**5.234.538**	**5.256.673**	**5.778.853**	**4.763.625**	**3.859.941**

Tabela 3-1 Dados da energia produzida e quantidade de carvão descarregado pelas centrais térmicas a carvão.

Correlacionando linearmente a produção térmica a carvão com a quantidade total descarregada no TMS obtemos a seguinte relação:

3-7 – Correlação entre a produção de energia térmica a carvão e a quantidade descarregada no Terminal

Verifica-se uma correlação linear positiva entre a produção térmica a carvão com o seu consumo. De lembrar que todo o carvão para as Centrais Térmicas passa por este terminal. Os pequenos desvios poderão estar relacionados com os períodos de armazenamento que não coincidem exactamente com os períodos de grande consumo.

Calculando uma regressão quadrática com os valores conhecidos, obtemos o valor de 0,827 o que indica uma forte co-relação positiva entre a produção térmica a carvão e a carga movimentada no TMS.

3.3 - Descrição técnica dos equipamentos portuários

3.3.1 - Descarregadores de Navios (Pórticos de 42 tons)

O descarregador de Navios tem como elemento de escavação um balde mecânico de conchas com 27m3 de capacidade que está ligado aos guinchos através dos cabos de aço. Para tal, utiliza um guincho de elevação e outro para a abertura e Fecho Balde. Para deslocar o Balde para a tremonha, um outro guincho de movimento horizontal de translação através de cabos que ligam os carros (Trolley) dos cabos e do Balde num sistema mecânico complexo.Os guinchos dos descarregadores são actuados por motores de corrente contínua com 507 Kw de potência, para a elevação e abertura/fecho e 300Kw para o motor do guincho do trolley. Estes motores são alimentados a 525V DC. Para fazer o movimento de translação ao longo do Cais, os descarregadores também estão equipados com 10 motores de 28 Kw cada alimentados igualmente a 525V DC.

Conforme iremos ver nos próximos capítulos, os cabos de aço dos descarregadores são de primordial importância no desempenho das operações com os descarregadores, porque todos os movimentos do Balde se fazem por intermédio dos cabos comandados pelos guinchos:

- **-Cabos de elevação do Balde** - 1 cabo esquerdo e 1 cabo direito de 242 m de comprimento. São cabos de alma redonda 6X36 (DIN 3064) tipo Warrington-Seale , não galvanizados , com núcleo de aço , camadas regulares e carga mínima de rotura 1112 KN e Tensão de rotura dos fios 1770 N/mm2 com 42 mm de diâmetro.

- **-Cabos de abertura/fecho do Balde** - 1 cabo esquerdo e 1 cabo direito de 242 m de comprimento. São cabos de alma redonda 6X36 (DIN 3064) tipo Warrington-Seale , não galvanizados , com núcleo de aço , camadas regulares e carga mínima de rotura 1112 KN e Tensão de rotura dos fios 1770 N/mm2 com 42 mm de diâmetro.

- -**Cabos de movimento transversal Lado do Mar** - 2 cabos esquerdos e 2 cabos direitos de 153 m no Lado do Mar (L.M.). São cabos de alma redonda 6X36 (DIN 3064) tipo Warrington-Seale , não galvanizados , com núcleo de aço , camadas regulares e carga mínima de rotura 910 KN e Tensão de rotura dos fios 1770 N/mm2 com 38 mm de diâmetro.

- -**Cabos de movimento transversal Lado de Terra** - 2 cabos esquerdos e 2 direitos de 114.5m no Lado de Terra (L.T.). São cabos de alma redonda 6X36 (DIN 3064) tipo Warrington-Seale , não galvanizados , com núcleo de aço , camadas regulares e carga mínima de rotura 910 KN e Tensão de rotura dos fios 1770 N/mm2 com 38 mm de diâmetro.

- -**Cabos intermédios** - 1 cabo esquerdo e 1 direito de 45.08 m. São cabos de alma redonda 6X36 (DIN 3064) tipo Warrington-Seale , não galvanizados , com núcleo de aço , camadas regulares e carga mínima de rotura 910 KN e Tensão de rotura dos fios 1770 N/mm2 com 38 mm de diâmetro.

Nota: M*etade dos comprimentos dos cabos de elevação e de abertura/fecho é utilizado como cabo de reserva para que não se tenha de proceder á sua substituição sempre que seja necessário proceder a algum corte nestes cabos.*

Dados estruturais:

- Dimensões principais…………………………………………….. (ver fig-3.8)
- Peso da estrutura do Descarregador em vazio……….......................1040 Tons
- Carga máxima a que ficam sujeitos os 24 rodados do Lado Mar ……480 KN
- Carga máxima a que ficam sujeitos os 20 rodados do Lado Terra…..400 KN
- Distância entre carris (bitola)..………………………………………24 m
- Elevação acima do nível do carril……………………………………..18.6 m

Dados operacionais:

- Capacidade de elevação de carga do Pórtico…………42 tons
- Caudal de descarga em escavação livre…………...1800 Tons/h
- Tempo médio de cada ciclo do Balde………………..50 segundos
- Elevação total do Balde………………………………48 m
- Elevação acima do nível do carril…………………..18.6 m
- Elevação acima do nível do carril (Especial)………..24 m
- Velocidade de descida do Balde (em vazio).……….150 m/min
- Velocidade de elevação do Balde (em Vazio).……..130 m/min
- Velocidade de fecho do Balde ……………………..130 m/min
- Velocidade de abertura do Balde…………………...180 m/min
- Velocidade transversal do carro do Balde………….240 m/min
- Velocidade de translação (Gantry)…………………25 m/min
- Tempo de elevação da lança.………………………..10 min
- Velocidade máxima do vento em operação…………20 m/s
- Velocidade máxima do vento para parquear………..25 m/s
- Velocidade máxima do vento c/ Pórtico parqueado...42 m/s

Dados dos motores principais:

- Motor de elevação do Balde - ABB , N=507 KW/U=525V DC, 1000 a 1400 rpm
- Motor de abertura/fecho do Balde - ABB, N=507 KW/U=525V DC,1000 a 1400rpm
- Motor de Translação do Trolley - ABB N=300 KW / U=525 V DC 1200 rpm
- Motor de elevação da lança - ABB - N=72 KW / U=525V DC , 1500 rpm
- Motores de translação do Pórtico - ABB - 10 X N=28 KW / 525V DC , 1500 rpm

Nota: 6 motores estão instalados do lado do mar, para compensar a maior distribuição do peso do Pórtico no Lado do Mar, e somente 4 do lado de terra.

Dados do Transformador:

- S……………………………………..……..1800 KVA
- U1……………………………………….6000 V…………In1 = 173,21 A
- U2…………………..................................525 V…………In2 = 1979,49 A
- Ucc………………………………………….4 %
- Peso do Transformador…………………4550 Kg
- Frequência.………………………………..50 Hz

Nota: Com 1800 KVA de potência instalada, estes descarregadores são os mais potentes a operar em Portugal.

Equipamentos auxiliares:

- Como equipamentos auxiliares do Pórtico temos um alimentador Vibrante, que é constituído por um pedestal com 2 motores-vibradores e uma rassoura comandada Hidraulicamente, que controla o caudal de saída da Tremonha do Pórtico para o Transportador de Vaivém (Shutle), equipado com um Separador de Metais para remover os objectos metálicos ferrosos que vêm no carvão, que permite fazer a passagem do Transportador do Pórtico para o Transportadores C-1 ou C-2.
- Uma unidade Hidráulica está localizada no Patamar intermédio do Pórtico e serve para actuar as Portas da Tremonha (Chapa de Derrame, portas laterais e porta traseira), mas também para comandar o Cilindro actuador da abertura da Tremonha , que regula o caudal de saída do descarregador para o transportador.
- Para os freios do Pórtico temos uma unidade Hidráulica de cada lado (L.M. e L.T.) que servem para levantar as quatro garras dos carris que estão tensionadas por uma potente mola Helicoidal que faz uma força de 200.000 N na fixação do descarregador ao carril.
- Existe ainda uma unidade Hidráulica localizada no patamar superior do Pórtico para comandar 2 cilindros Hidráulicos que amortecedores dos cabos intermédios do Trolley.

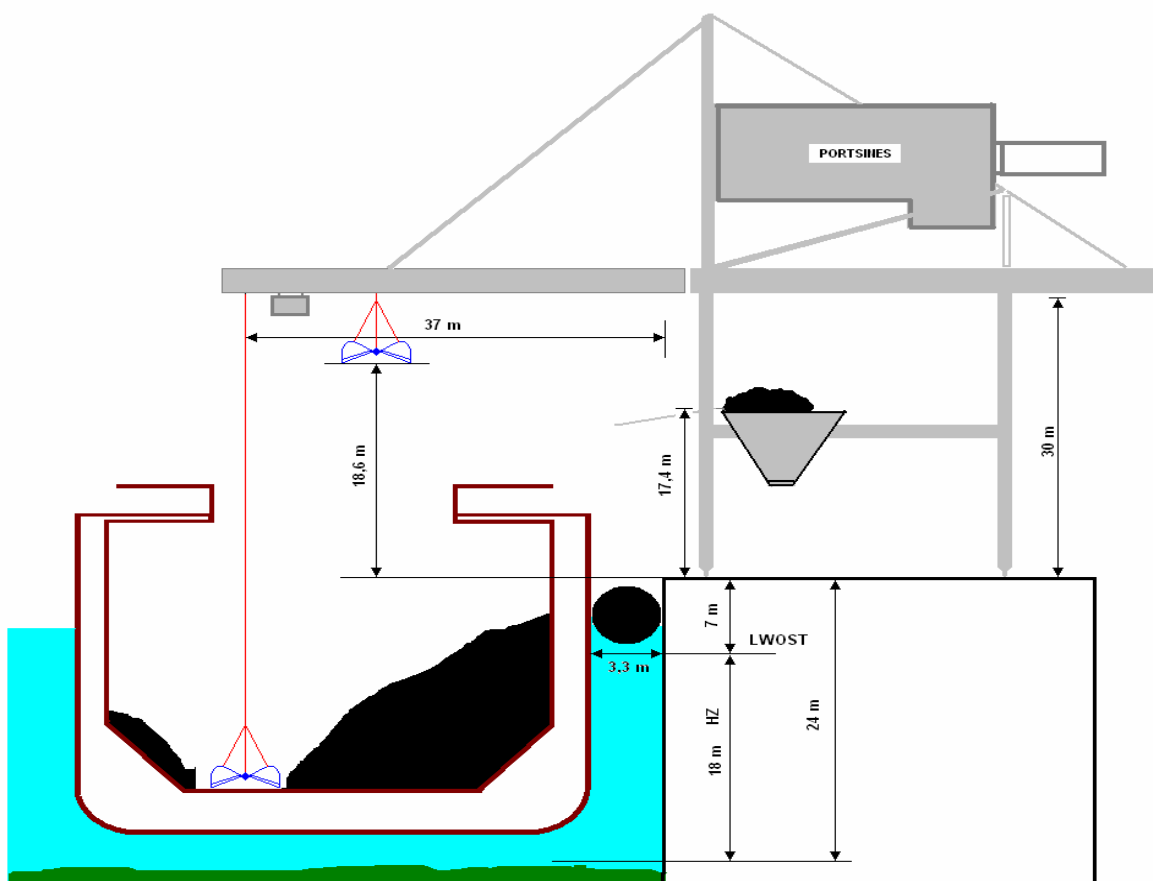



Fig - 3-8 - Descarregador de Navios e suas principais dimensões e capacidades operacionais

3.3.2 Stacker-Reclaimer

O Stacker-reclaimer ou Máquina de parque combinada (depositadora-recolhedora) é uma máquina concebida para empilhar o carvão, descarregado dos Navios, em pilhas até 16 metros de altura para posterior retoma com a roda-pá que funciona como uma fresa mecânica, recolhendo o produto e colocando-o no circuito de transportadores.

A SR é constituída pela infra-estrutura onde está um transportador elevador que leva o carvão até ao transportador da Lança, instalada na super-estrutura. A Lança roda 90º para a esquerda e para a direita no sentido longitudinal do caminho de rolamento da SR.

Quando em modo de retoma a Roda pá é accionada por um motor de 220Kw e o transportador da lança inverte o sentido para levar o carvão a cair no seu interior até ao transportador instalado ao longo do caminho de rolamento.

Uma central hidráulica pressiona dois cilindros hidráulicos que levantam a lança de 50 metros. Para equilibrar o momento do centro de gravidade da lança, está instalado um contrapeso do lado oposto e os cilindros hidráulicos elevam ou baixam este conjunto consoante a altura a que se quer operar com este equipamento.

Para fazer o movimento de deslocação ao longo do caminho de rolamento a SR está equipada com 15 motores distribuídos pelos seus três pilares de suporte de infra-estrutura. Cada pilar tem vários conjuntos de boogies de rodados, que, à semelhança dos descarregadores, distribuiu de forma equitativa as cargas verticais por todos os rodados que compõem o sistema de translação.

Para rodar a lança estão três motores que accionam a rotação da super estrutura, permitindo posicionar a Lança no seu local de operação adequado.

Dados técnicos SR:

- Peso da Máquina (sem Contrapeso)……………………………….666 tons
- Peso da Máquina (com Contrapeso)……………………………….810 tons
- Distância entre carris (bitola)……………………………………...9 m
- Caudal de empilhamento máximo………………………………..4000 t / hora
- Caudal de retoma máximo……………………………………….2000 t / hora
- Comprimento da lança……………………………………………50 m
- Comprimento máximo do Conjunto………………………………130 m
- Ângulos de retoma/empilamento da Lança……………………….Esqª 90ª / Dirª 90º
- Ângulos máx. de Elev. Lança em retoma…………………………Esqª 29º / Dirª 31.2
- Ângulos máx. de Elev. Lança a empilhar…………………………Esqª 32º / Dirª 34º
- Altura máxima alcançada pela Lança ………………………………17 m
- Comprimento do caminho de rolamento…………………………..440 m
- Nº de rodados…………………………………………………......36
- Velocidade de Translação…………………………………………0.5 m/ s

Motores:

- Translação…………………………………..15 x 11 KW / 690 V , 1440 rpm
- Rotação da Lança……………………………3 x 11 KW / 690 V , 980 rpm
- Roda-Pá………………………………………1 x 132 KW / 690 V , 1480 rpm
- Elevação da Lança……………………………1x 30 KW / 690 V , 1450 rpm
- Transportador da Lança……..……………….. 2 x 110 KW / 690 V , 1475 rpm
- Transportador Elevador………………………2 x 110 KW / 690 V , 1475 rpm
- Transformador……………………………..…U1=6.000V U2 690V S=800 KvA

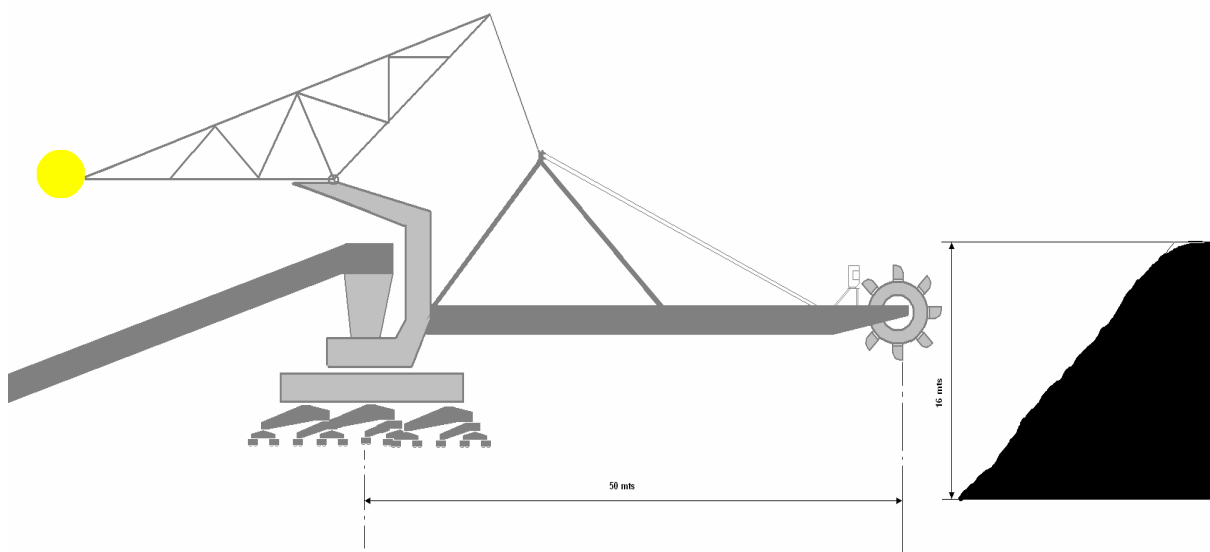



Fig - 3-9 - Dimensões principais do Stacker-Reclaimer

3.3.3 Shiploader

O Shiploader (carregador de Navios) é uma máquina portuária destinada a carregar Navios com granéis sólidos, através de um transportador instalado na lança. Esta lança recebe o carvão retomado dos parques, através dos transportadores de correia, e enche os porões das embarcações de menor calado. Na sua operação tem 4 motores de translação, 2 motores fazem a rotação da lança e uma central hidráulica pressiona 2 cilindros que levanta a lança para permitir posicionar o carregamento.

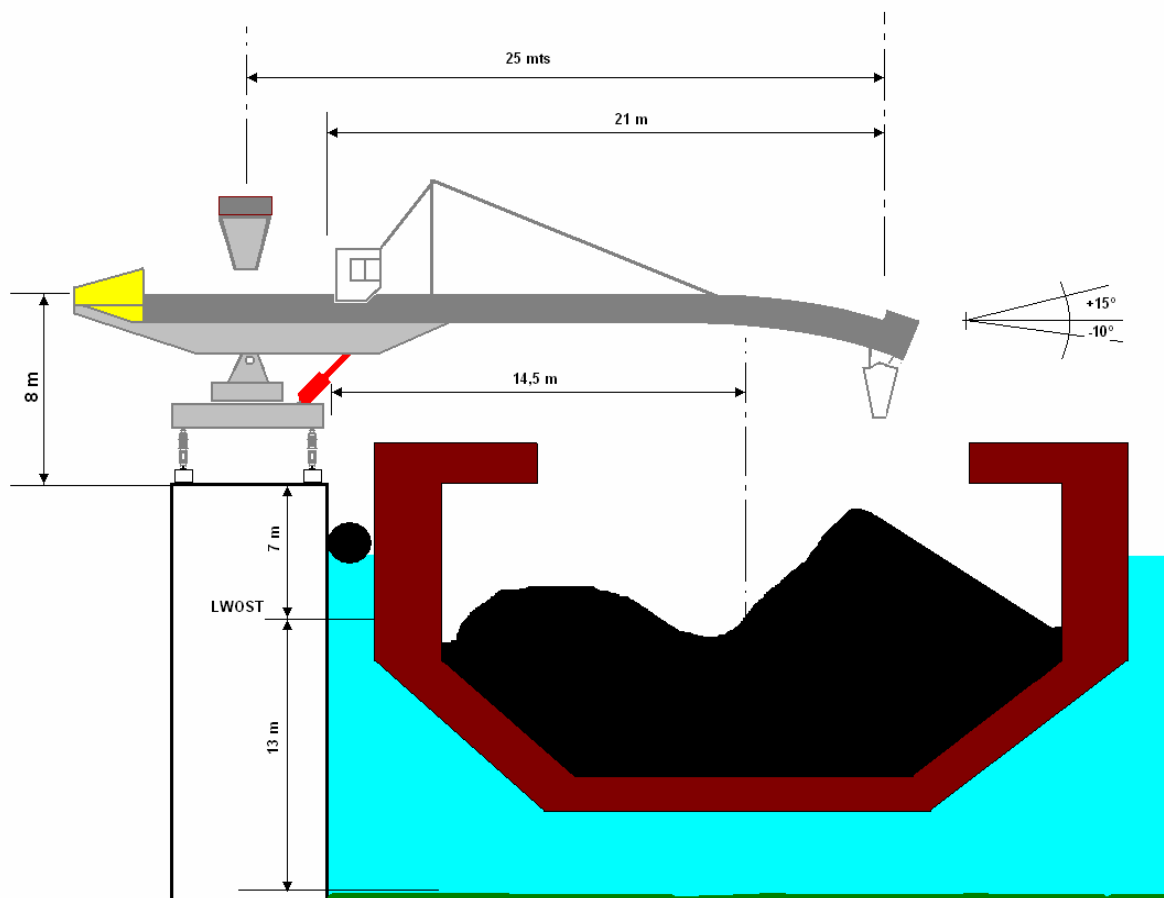



Fig - 3-10 – Dimensões principais do carregador de Navios

Dados técnicos Shiploader:

- Peso da Máquina (sem Contrapeso)……………………202,9 tons
- Peso da Máquina (com Contrapeso)……………………257,9 tons
- Distância entre carris (bitola)……………………………...9 m
- Caudal de empilhamento máximo……………………..1500 tons / hora
- Comprimento da lança…………………………………25 m
- Comprimento máximo do Conjunto SL1………………62 m
- Ângulos máximos da Lança a empilhar………………..Esqª 140º e Dirª 140º
- Ângulos Elevação da Lança……………………………+15º e -10º
- Altura do cais (NMAM)……………………………….5,8m
- Comprimento do caminho de rolamento………………75 m
- Velocidade de Translação……………………………..0.28 m/s
- Nº de rodados……………………………………………20

Dados eléctricos e motores:

- Translação……………………...4 X 11 KW / 690 V , 1440 rpm
- Rotação da Lança………………2 X 3 KW / 690 V , 1000 rpm
- Elevação da Lança……………..1X 22 KW / 690 V , 1500 rpm
- Transportador da Lança………..1 X 75 KW / 690 V , 1500 rpm
- Transformador…………………U1=6.000V U2=690V S=315 KvA

3.3.4 Transportadores de correia de borracha

Os transportadores são constituídos por uma estrutura metálica de apoio aos suportes dos rolos, que podem ser de carga, impacto e retorno. O accionamento desta correia transportadora de borracha é feito por um ou dois motores eléctricos de corrente alterna trifásica. O arranque destes motores é feito por contactor directo que liga os enrolamentos em estrela o que se mantém durante o accionamento do transportador, reduzindo a corrente de arranque e de funcionamento. Entre o motor e a caixa redutora está acoplada uma embraiagem hidráulica que reduz o binário de arranque e consequentemente, a corrente eléctrica de arranque. Esta embraiagem está acoplada à caixa redutora que por sua vez acciona um tambor motriz revestido de borracha para ter atrito com a correia transportadora. A correia de borracha tem quatro lonas que conferem a resistência e evitam o alongamento longitudinal exagerado. A correia passa por um tambor de massas suspenso para dar tensão para poder ser accionada pelo tambor motriz.

Nos transportadores de média dimensão (mais de 20 metros entre os eixos dos tambores motrizes e tambores de cauda) a correia passa pelos tambores motrizes, tambores de cauda, tambores de tensionamento, tambor de abraçamento e dois tambores desviadores para o tensor.Este equipamento para funcionar perfeitamente terá de ter todos os rolos e respectivos rolamentos em perfeito funcionamento, assim como todas as chumaceiras onde os veios dos tambores rodam. Para além destes órgãos móveis temos ainda que assegurar um bom funcionamento das caixas redutoras e respectivo motor eléctrico.

Fig - 3-11 Planta de uma estação motriz de duplo accionamento de um transportador de correia

Os rolos de um transportador são de 3 tipos:

- Rolos de carga – são rolos lisos que suportam a parte superior da correia que contém a carga em granel. Estes rolos distam entre si cerca de 1 metro e formam uma secção trapezoidal que retêm o produto, evitando os derrames.
- Rolos de retorno – são rolos revestidos de borracha lisa , helicoidal ou em anéis, localizados no retorno da correia. Estes rolos distam entre si cerca de 3 metros e apenas servem para suportar o peso próprio da correia transportadora.
- Rolos de impacto – são rolos revestidos de borracha em segmentos anelados, localizados na área das quedas do produto para amortecer o impacto resultante da energia cinética da queda do produto. Estes rolos distam entre si cerca de apenas 0,3 metros para evitar flechas pronunciadas na correia.

Fig - 3-12 – Esquema de uma queda de um transportador de correia

A rede de transportadores funciona por itinerários pré-programados que conduzem o produto desde um determinado equipamento até ao destino final. Na figura 3-13 podemos ver o esquema de distribuição da rede de transportadores em que cada transportador descarrega o produto para o transportador seguinte através de uma tremonha localizada nas torres. Estas tremonhas normalmente têm uma boquilha móvel, que posiciona a direcção da queda do produto, através por um actuador eléctrico que lhes permite fazer a agulhagem de um transportador para outro (ver setas na figura 3-13).

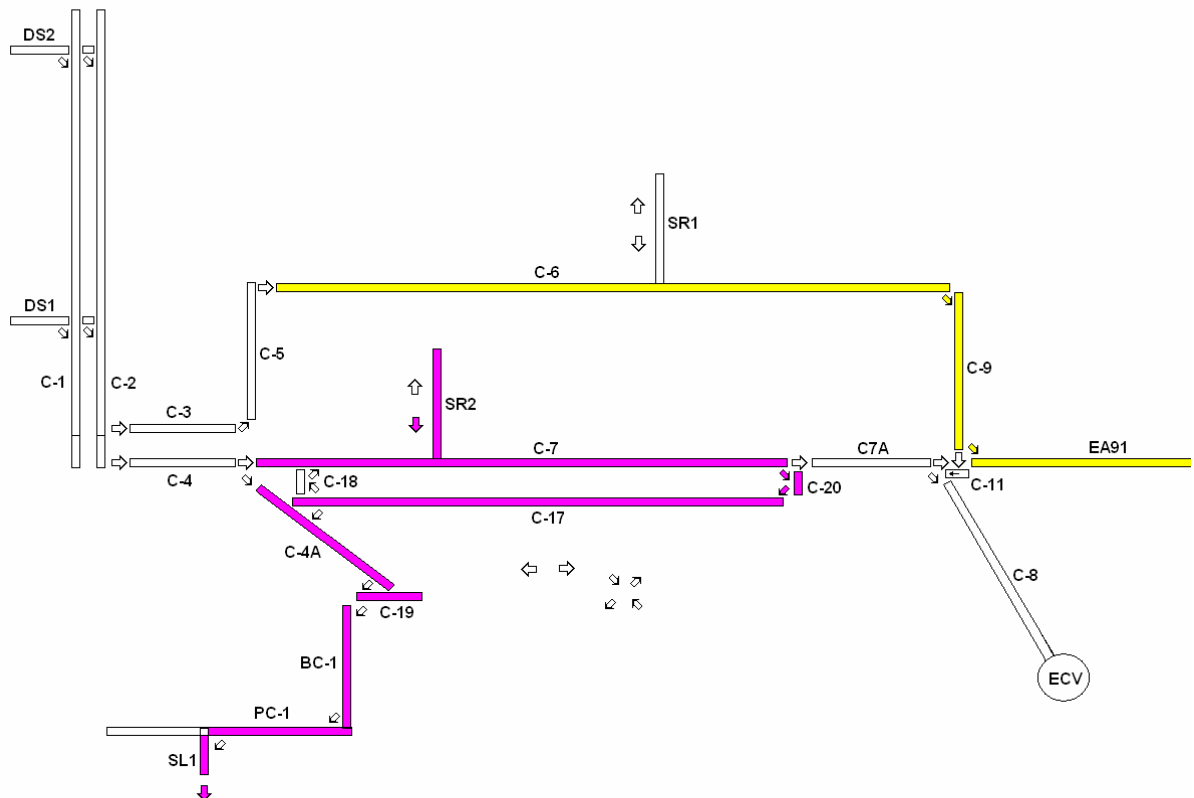



Fig - 3-13 - Rede de transportadores por correia e sentidos de movimentação dos granéis sólidos.

3.4 – Equipamentos do estudo

Resumidamente, os equipamentos deste estudo são constituídos pelos 2 descarregadores no início do processo que depois encaminham o produto (Caudal máximo de 2.000 tons/h cada) para a rede de transportadores. Dentro da rede de transportadores os dois fluxos provenientes dos descarregadores poderão ser adicionados, na primeira torre de transferência, convergindo num só transportador para qualquer uma das duas Stacker-reclaimer que colocará o produto em pilha nos parques de carvão.

Assim temos 3 conjuntos de grandes grupos de equipamentos, que constituem o processo de descarga de carvão, que será alvo do estudo da sua fiabilidade global e iremos analisar um sistema não reparável que será o componente cabos de aço.

Fig - 3-14 – Esquema do processo de descarga de carvão e respectivos fluxos

Cada um destes grupos tem as suas particularidades técnicas bem diferenciadas e são completamente independentes, em termos do seu funcionamento isolado. No entanto estão intercalados em série mas de forma redundante em relação ao sistema de transportadores e Stacker-reclaimer. Já os descarregadores não têm redundância operacional, o que faz com que em caso de falha de um deles a produção cai para metade do estipulado.

4 – Fiabilidade da instalação de descarga de carvão

4.1 - Introdução

No estudo da fiabilidade de um sistema produtivo assumimos que o produto da fiabilidade de todos os seus componentes resulta na fiabilidade total do sistema.

A operação portuária, tal como qualquer processo que utilize equipamentos técnicos, está sujeita ás avarias, falhas e consequentes paragens com os inerentes custos que estas acarretam. Atendendo que a cadeia logística portuária é extremamente complexa e onerosa, basta lembrar que para uma única operação de carga ou descarga de um Navio, além dos tempos de espera da embarcação que está a operar também podem estar outras embarcações ao largo em fila de espera para entrar no Porto e ainda podemos ter uma cadeia logística terrestre composta por gruas camiões pessoal e ferramentas dependente da operação em curso num cais de um Porto.

Uma eficiente gestão da manutenção, recorrendo frequentemente a uma manutenção preventiva evita numerosas paragens, que podem totalizar tempos elevados de imobilização das operações com custos economicamente penalizadores.

Considera-se que a disponibilidade dos equipamentos portuários é boa se os tempos de paragem não excederem os 3% do tempo total da operação e satisfatório se este tempo ficar acima dos 5%. Acima deste valor será considerado um mau desempenho operacional.

O Sector portuário é vital na economia dos Países que tenham costa Marítima, logo também é um sector extremamente competitivo em que os tempos de operação e estadia devem ser breves, permitindo rentabilizar não só a instalação, como também toda a cadeia logística a montante e a jusante dos Portos.

Em qualquer processo que implique a utilização de equipamentos deverá existir sempre um sistema de gestão da manutenção, cujo planeamento será tanto mais elaborado, quanto mais complexo for o sistema que se pretende manter em funcionamento tendo em conta as implicações que cada tarefa de inspecção, verificação, ajuste, substituição ou reparação dos equipamentos que constituem um sistema.

4.1.1 - Custos directos resultantes das falhas dos equipamentos;

Uma falha poderá ser insignificante em termos de tempo de paragem ou de custos, mas por outro lado pode ter implicações nos mais variados custos directos e indirectos:

- Custo do componente que se deteriorou ou falhou em funcionamento;
- Custo directo da paragem ou perda de produção, durante o tempo que se utilizou entre a paragem e o tempo de espera e de reparação;
- Custo dos danos colaterais causados pelo componente que falhou no equipamento envolvente a montante ou a jusante;
- Custos com a eventual danificação do produto que esteja a ser produzido ou manuseado;
- Custos de segurança devido à possibilidade de certas falhas colocarem em perigo a integridade física dos trabalhadores próximos do equipamento;
- Custos ambientais decorrentes de um derrame de lubrificantes, emissões gasosas, contaminação com produtos químicos, incêndio ou explosão que determinadas falhas em circunstâncias particulares podem acarretar;

4.1.2 Custos indirectos associados ás falhas dos equipamentos:

- Insatisfação dos clientes relativamente aos tempos de operação e cumprimento dos contratos estabelecidos;
- Perda de clientes que poderão recorrer a outros operadores;
- Perda de prestígio e imagem da empresa;
- Pagamentos aos clientes de indemnizações ou sobreestadia de embarcações, máquinas e transportes terrestres
- Aumento dos prémios dos seguros que cobrem riscos nos equipamentos, pessoas, bens e responsabilidade civil;
- Aumento dos custos energéticos devido ao facto de a instalação ficar mais horas em stand-by ou a funcionar em vazio;
- O aumento das horas de funcionamento em vazio tem custos associados às manutenções periódicas que se regem por horas de funcionamento;
- Aumento dos custos com o pessoal devido ás remunerações extraordinárias;

4.1.3 Enquadramento das ferramentas da qualidade no controlo das falhas dos equipamentos:

Normalmente associamos a gestão da manutenção a unidades da indústria transformadora, construção ou transportes. Contudo a função manutenção tornou-se transversal a praticamente todas as áreas de negócio, uma vez que o conceito de manutenção é aplicável não só a máquinas mas também a hardware, software, sistemas auxiliares e de climatização pelo que estes conceitos tornam-se abrangentes e cada vez mais percebe-se que é necessário estudar as falhas e sua frequência para se determinar se o sistema apresenta uma elevada fiabilidade, se esta está estabilizada ou se apresenta tendência de subida ou descida e identificação dos órgãos críticos que mereçam uma intervenção correctiva/preventiva ou uma melhoria/alteração visando melhorar o desempenho global de um sistema, reduzindo os custos de exploração.
As ferramentas da qualidade aplicadas para encontrar tendências no comportamento de um sistema revelam-se de grande utilidade na detecção dos componentes críticos, causas e desenvolvimento de soluções para realizar uma melhoria efectiva dos processos.

4.2 – Aplicação prática das ferramentas da qualidade e conceitos abordados

Na implementação de um estudo sobre a manutenção, visando a detecção de avarias persistentes e componentes críticos para procurar soluções técnicas e processuais que permitam melhorar o desempenho da instalação, pode-se recorrer a ferramentas que nos permitam interpretar o funcionamento e desempenho da instalação.

Iniciando, por exemplo a elaboração de diagramas de Pareto que nos ajudem a separar e a tipificar as avarias para depois fazer um diagrama causa-efeito que permita expor as diferentes causas possíveis para a ocorrência de uma falha persistente é um bom ponto de partida. A partir daqui podemos avançar para o desenvolvimento de estudos mais específicos como sejam os diagramas de dispersão, cartas de controlo ou ainda se poderá recorrer a desenhos de experiências, caso se pretenda obter um parâmetro dentro de determinadas tolerâncias, e seja possível controlar os factores que influenciam o desempenho ou o resultado.

Deve-se, antes de se iniciar uma análise aos dados de manutenção, desenvolver metodologias e planear o tipo de registos que são importantes de apontar para se poder obter dados históricos úteis que nos permitam estudar a duração dos equipamentos e respectivos componentes, assim como a possibilidade de comparar as diferentes peças dos diversos fabricantes para se saber qual a melhor relação qualidade preço do mercado e ainda podermos fazer uma eficiente gestão de sobresselentes em armazém.

Resumidamente podemos dizer que um eficiente sistema de registo de dados pode ser a diferença entre poder fazer uma eficiente gestão da manutenção ou ter uma série de trabalho burocrático que não conduz a resultados visíveis do ponto de vista da produtividade e melhoria contínua dos processos.

Nas alíneas seguintes vamos mostrar algumas aplicações práticas das ferramentas da qualidade e conceitos abordados.

4.2.1 – Diagramas de Pareto (Análise ABC)

Para se determinar quais as falhas sistemáticas mais relevantes e prioritárias na actuação preventiva da manutenção, elaborou-se uns diagramas de Pareto a partir da caracterização das ocorrências mais frequentes em que o parâmetro em análise pode ser o tempo em minutos da duração da falha e o nº de ocorrências.

4.2.1.1 - Diagrama de Pareto com as causas do Nº de paragens das descargas por falha equipamento ou falha operacional – 2006

Ordem	Código Falha	Nº ocorr	Acumulado	% Acumul.	% total	Descrição do tipo de avaria
1º	OP	148	148	38,34	38,34	Falhas Operacionais
2º	TRPM1	83	231	59,84	21,50	Entupim/patinagem/desv. banda
3º	DSE1	41	272	70,47	10,62	Avaria eléct./Sensores e instrum
4º	TRPM	36	308	79,79	9,33	Mecânica Trp -> telas/rolos
5º	DSE2	30	338	87,56	7,77	Sincronismo/Comunicação/PLC
6º	TRPE	17	355	91,97	4,40	Eléctrica geral Transportadores
7º	SRE	9	364	94,30	2,33	Eléctrica geral SR's
8º	SUB	9	373	96,63	2,33	Subestações eléctricas + PLC
9º	DSM2	6	379	98,19	1,55	Cabos
10º	DSM3	5	384	99,48	1,30	Mecânica geral Descarregadores
11º	SRM	2	386	100,00	0,52	Mecânica geral SR's
12º	DSM1	0	386	100,00	0,00	Balde
Total	-	386	-	-	100,00	

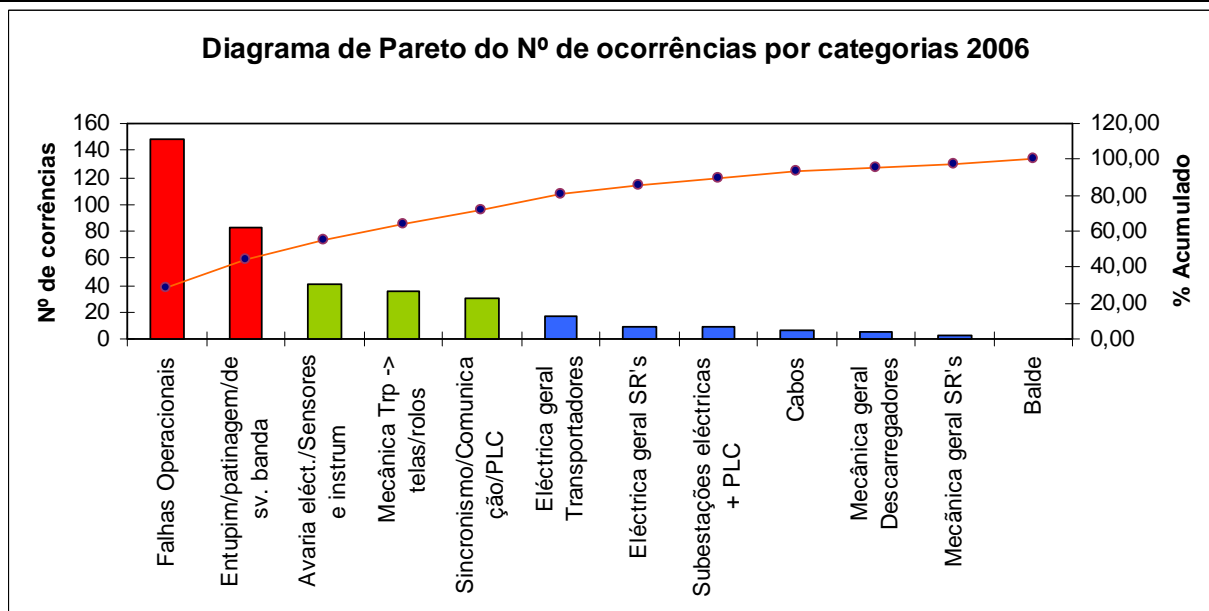



Fig - 4-1 Diagrama de Pareto Nº ocorrências 2006

As falhas operacionais e os entupimentos dos Transportadores foram a principal causa do elevado tempo de paragem das operações e também do maior nº de paragens, pelo que estes foram os factores a terem maior relevância no desempenho da instalação em 2006.

4.2.1.2 - Diagrama de Pareto com o tempo das principais causas paragens das descargas por falha equipamento/operacional – 2006

Ordem	Código Falha	Tempo	Acumulado	% Acumul.	% total	Descrição do tipo de avaria
1º	OP	5165	5165	40	40,40	Falhas Operacionais
2º	DSE1	2185	7350	57	17,09	Avaria eléct./Sensores e instrum
3º	TRPM1	1485	8835	69	11,62	Entupim/patinagem/desv. banda
4º	SUB	1065	9900	77	8,33	Subestações eléctricas + PLC
5º	DSM2	875	10775	84	6,84	Cabos
6º	TRPM	700	11475	90	5,48	Mecânica Trp -> telas/rolos
7º	TRPE	565	12040	94	4,42	Eléctrica geral Transportadores
8º	DSE2	365	12405	97	2,85	Sincronismo/Comunicação/PLC
9º	SRE	215	12620	99	1,68	Eléctrica geral SR's
10º	DSM3	125	12745	100	0,98	Mecânica geral Descarregadores
11º	SRM	40	12785	100	0,31	Mecânica geral SR's
12º	DSM1	0	12785	100	0,00	Balde
TOTAL	-	12785	-	-	100,00	

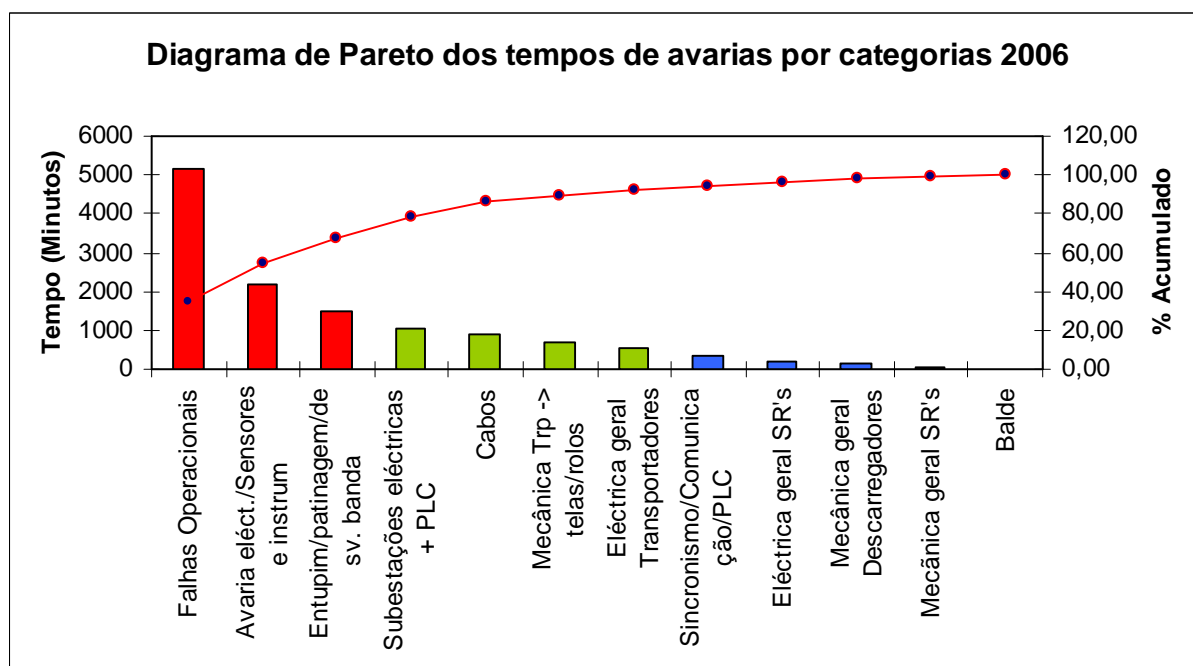



Fig - 4-2 Diagrama de Pareto do Tempo (minutos) avarias 2006

NOTA: Em todos os diagramas referentes a 2006,2007 e 2008 estão incluídas as paragens operacionais uma vez que estas têm relevância na determinação de causas que não sejam apenas técnicas. Na análise das avarias, os tempos operacionais já não serão incluídos, uma vez que estes dependem do factor humano e não de factores técnicos.

4.2.1.3 - Diagrama de Pareto com as causas do Nº de paragens das descargas por falha equipamento ou falha operacional – 2007

Ordem	Código Falha	Nº ocorr	Acumulado	% Acumul.	% total	Descrição do tipo de avaria
1º	DSE1	31	31	15,58	15,58	Elect.+ Instrum. DS
2º	OP1	29	60	30,15	14,57	Operação Descarreg.
3º	OP2	28	88	44,22	14,07	Operação SR+Transp.
4º	TRPM	20	108	54,27	10,05	Mecânica Transp.
5º	TRPE	17	125	62,81	8,54	Eléctrica Transp.
6º	DSE2	17	142	71,36	8,54	PLC / Sincron. DS
7º	SER	17	159	79,90	8,54	Eléctrica SR
8º	DSM2	14	173	86,93	7,04	Cabos Descarreg.
9º	DSM3	11	184	92,46	5,53	Mecânica Descarreg.
10º	DSM1	9	193	96,98	4,52	Baldes Descarreg.
11º	OP3	4	197	98,99	2,01	Sub. Eléctricas+PLC
12º	SRM	2	199	100,00	1,01	Mecânica SR
Total	-	199	-	-	100	

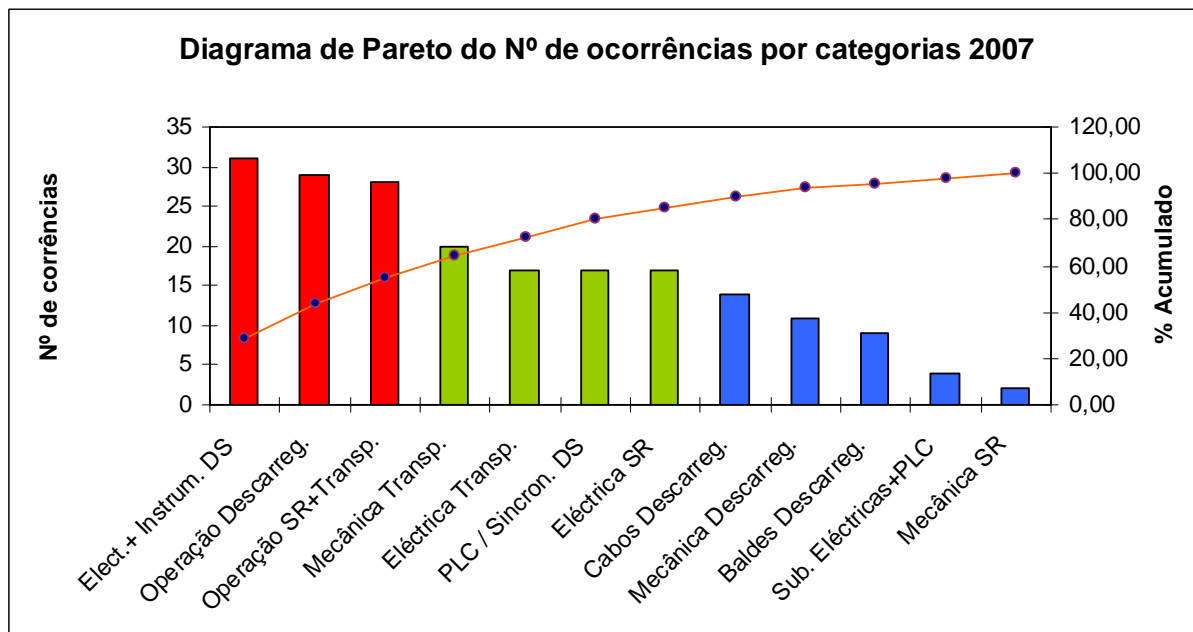



Fig - 4-3 Diagrama de Pareto Nº ocorrências 2007

As avarias mecânicas foram a principal causa do elevado tempo de paragem das operações em 2007. Em termos do nº de falhas, estas foram relativamente baixas com o nº de avarias eléctricas, falhas dos instrumentos dos Descarregadores e falhas operacionais dos transportadores a terem maior relevância.

4.2.1.4 - Diagrama de Pareto com o tempo das principais causas paragens das descargas por falha equipamento/operacional - 2007

Ordem	Código Falha	Tempo	Acumulado	% Acumul.	% total	Descrição do tipo de avaria
1º	DSM3	13590	13590	58,68	58,68	Mecânica Descarreg.
2º	DSE1	4135	17725	76,53	17,85	Elect.+ Instrum. DS
3º	DSM2	1425	19150	82,69	6,15	Cabos Descarreg.
4º	OP1	1265	20415	88,15	5,46	Operação Descarreg.
5º	DSE2	665	21080	91,02	2,87	PLC / Sincron. DS
6º	OP2	635	21715	93,76	2,74	Operação SR+Transp.
7º	SER	440	22155	95,66	1,90	Eléctrica SR
8º	DSM1	385	22540	97,32	1,66	Baldes Descarreg.
9º	TRPE	260	22800	98,45	1,12	Eléctrica Transp.
10º	TRPM	235	23035	99,46	1,01	Mecânica Transp.
11º	OP3	80	23115	99,81	0,35	Sub. Eléctricas+PLC
12º	SRM	45	23160	100,00	0,19	Mecânica SR
Total	-	23160	-	-	100	-

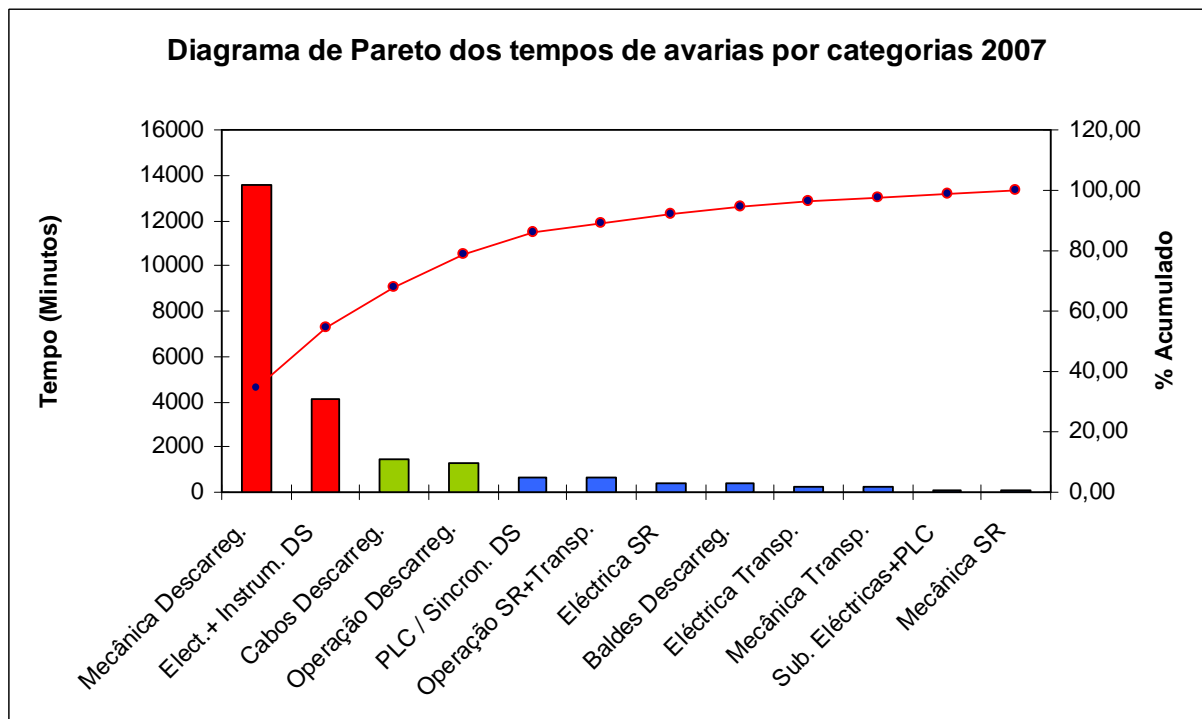



Fig - 4-4 Diagrama de Pareto do Tempo (minutos) avarias 2007

4.2.1.5 - Diagrama de Pareto com as causas do Nº de paragens das descargas por falha equipamento ou falha operacional – 2008

Ordem	Código Falha	Nº ocorr	Acumulado	% Acumul.	% total	Descrição do tipo de avaria
1º	OP2	39	39	28,47	28,47	Operação SR+Transp.
2º	TRPE	21	60	43,80	15,33	Eléctrica Transp.
3º	OP1	15	75	54,74	10,95	Operação Descarreg.
4º	DSE1	13	88	64,23	9,49	Elect.+ Instrum. DS
5º	DSE2	11	99	72,26	8,03	PLC / Sincron. DS
6º	SER	11	110	80,29	8,03	Eléctrica SR
7º	TRPM	7	117	85,40	5,11	Mecânica Transp.
8º	DSM3	6	123	89,78	4,38	Mecânica Descarreg.
9º	DSM1	5	128	93,43	3,65	Baldes Descarreg.
10º	DSM2	3	131	95,62	2,19	Cabos Descarreg.
11º	OP3	3	134	97,81	2,19	Sub. Eléctricas+PLC
12º	SRM	3	137	100,00	2,19	Mecânica SR
Total	-	137	-	-	100,00	

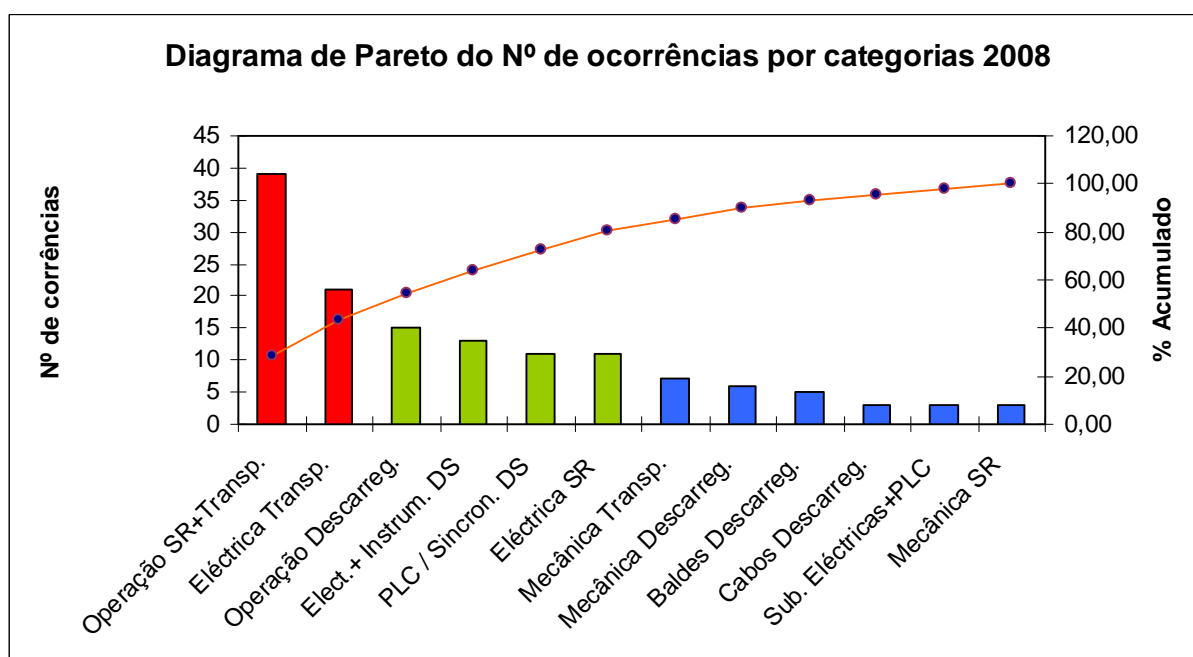



Fig - 4-5 Diagrama de Pareto Nº ocorrências 2008

As falhas operacionais dos Descarregadores, Transportadores e Stacker-Reclaimer’s foram a principal causa do elevado tempo de paragem das operações e também do maior nº de avarias, pelo que estes foram os factores a terem maior relevância no desempenho da instalação em 2008.

4.2.1.6 - Diagrama de Pareto com o tempo das principais causas paragens das descargas por falha equipamento/operacional - 2008

Ordem	Código Falha	Tempo	Acumulado	% Acumul.	% total	Descrição do tipo de avaria
1º	OP1	3180	3180	34,45	34,45	Operação Descarreg.
2º	OP2	1845	5025	54,44	19,99	Operação SR+Transp.
3º	DSE1	1215	6240	67,61	13,16	Elect.+ Instrum. DS
4º	DSM2	1025	7265	78,71	11,11	Cabos Descarreg.
5º	TRPE	655	7920	85,81	7,10	Eléctrica Transp.
6º	DSM3	295	8215	89,00	3,20	Mecânica Descarreg.
7º	DSE2	260	8475	91,82	2,82	PLC / Sincron. DS
8º	DSM1	235	8710	94,37	2,55	Baldes Descarreg.
9º	SER	175	8885	96,26	1,90	Eléctrica SR
10º	TRPM	140	9025	97,78	1,52	Mecânica Transp.
11º	OP3	105	9130	98,92	1,14	Sub. Eléctricas+PLC
12º	SRM	100	9230	100,00	1,08	Mecânica SR
Total		9230	-	-	100,00	

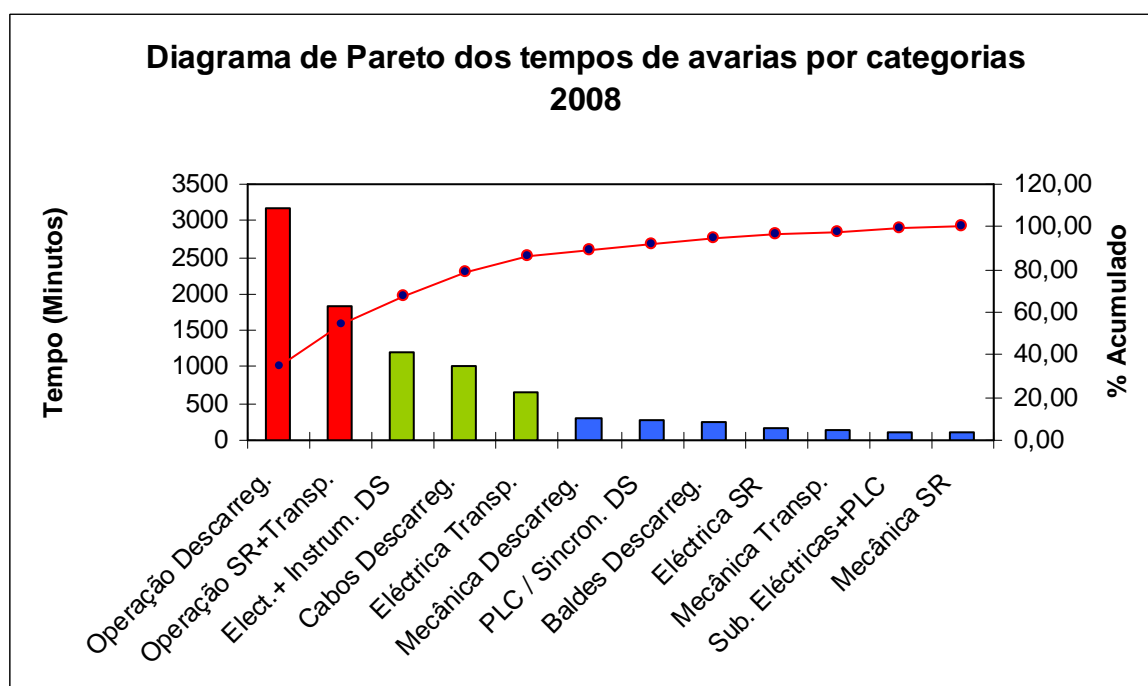



Fig - 4-6 Diagrama de Pareto do Tempo (minutos) avarias 2008

4.2.1.7 - Conclusões

Além das falhas operacionais e dos instrumentos dos descarregadores, verifica-se que os cabos têm algum peso em termos de tempos de paragem dos equipamentos. Tratando-se do componente melhor cadastrado nos registos de manutenção, podemos estudar formas de melhorar o seu desempenho visando a redução dos tempos de paragem por falha deste componente.

4.2.2 – Diagrama causa-efeito

Para determinar as causas das falhas e desgaste precoce dos cabos de aço, que representam um importante papel no desempenho dos processos de descarga dos Navios, podemos fazer uma análise das causas que podem levar a um desempenho fraco dos cabos.

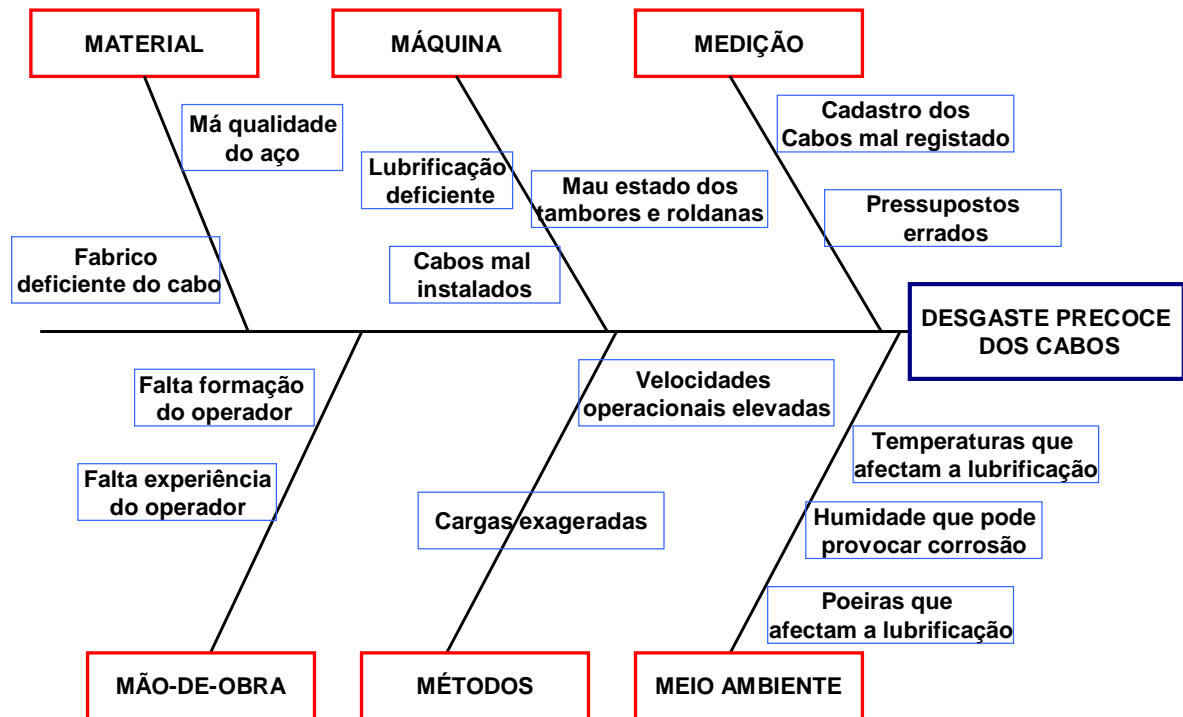



Fig - 4-7 Diagrama causa-efeito do desgaste precoce dos cabos de aço

Numa instalação com mais de 16 anos de experiência não é de crer que falte experiência aos operadores e aos técnicos de manutenção, pelo que as causas dos Homens e da máquina não será de considerar.

Das causas possíveis destacam-se nos materiais a qualidade de fabrico do componente e nos métodos as cargas e velocidades operacionais exageradas devido aos ritmos de operação cada vez mais exigentes. Devido à dificuldade de se inventariar os fabricantes e respectivos lotes de cabos que foram fornecidos e instalados, seria interessante verificar se existe uma co-relação entre os ritmos de operação em toneladas descarregadas por hora e a duração dos cabos dos descarregadores.

4.2.3 – Diagramas de dispersão

Procurando verificar se existe alguma correlação entre o ritmo de operação e a degradação precoce dos cabos. Tomando os valores anuais da produtividade útil (Tonelagem descarregada por hora) com a duração média anual em Milhares de toneladas dos cabos de Elevação e dos cabos de Fecho dos dois Descarregadores, obtivemos a tabela seguinte:

DADOS DAS OPERAÇÕES				Duração bobines (tons)	
ANO	Nº Navios	Tons	(t/h) Útil	HOLD	CLOSE
1994	38	4.075.812	1534	389	461
1995	50	5.327.539	1694	399	604
1996	41	4.532.245	1271	249	414
1997	39	4.643.333	1862	246	507
1998	36	4.286.632	2053	315	488
1999	44	5.543.727	2000	200	465
2000	42	5.660.731	2026	239	592
2001	38	4.779.061	1854	212	483
2002	41	5.668.000	1938	219	646
2003	41	5.330.280	2104	229	430
2004	41	5.288.209	2205	201	456
2005	47	5.521.055	2340	301	446
2006	46	5.960.273	2235	210	302
2007	39	4.994.870	2242	276	386
2008	40	3.944.281	2310	190	363

Tabela 4-1 Dados das operações para verificação de correlação entre o ritmo operacional e o desgaste precoce dos cabos do Hold e Close

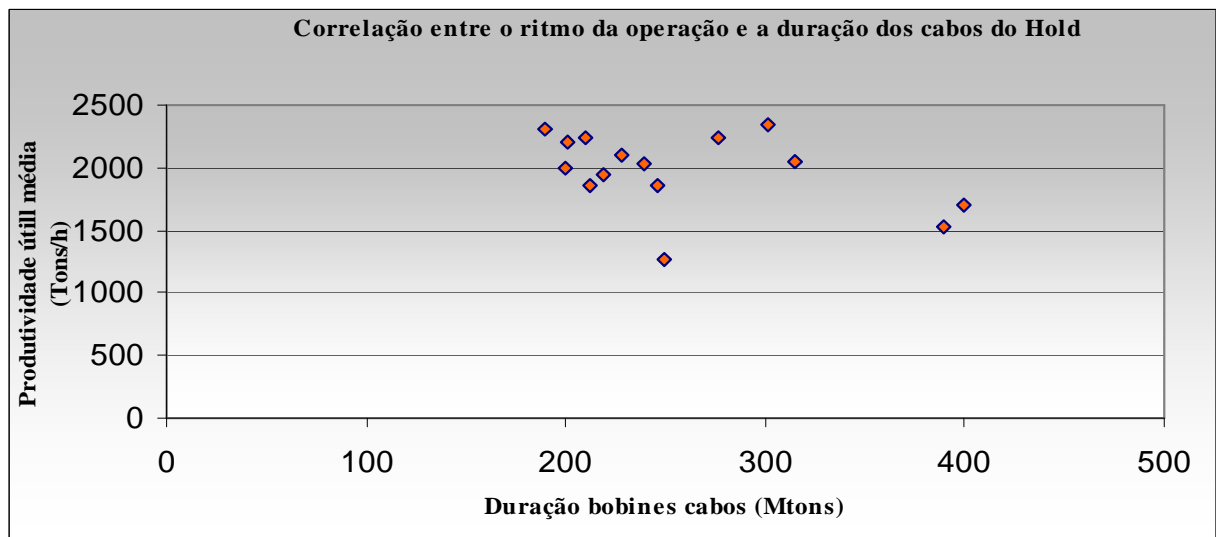



Fig - 4-8 Diagrama de dispersão entre o ritmo das operações e a duração dos cabos do Hold

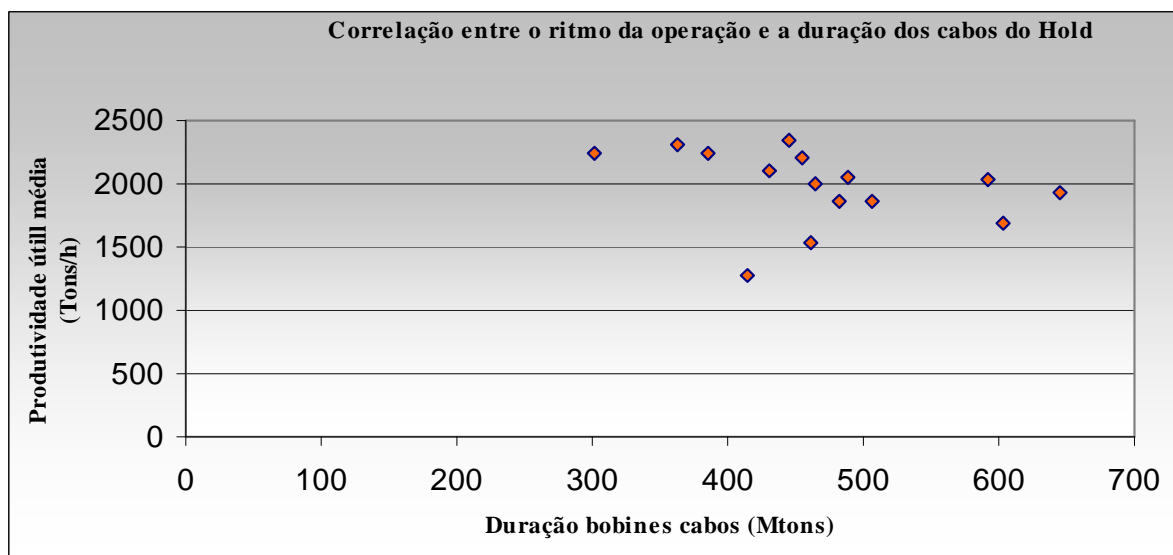



Fig - 4-9 Diagrama de dispersão entre o ritmo das operações e a duração dos cabos do Close

No caso apresentado que tem a correlação entre a duração dos cabos de aço e o ritmo de descarga em toneladas por hora dos 2 tipos de cabos instalados nos descarregadores (Hold e Close), contrariamente ao que se podia esperar, não foi possível determinar uma correlação clara em relação aos valores esperados.

Fazendo uma regressão quadrática aos valores obtivemos os seguintes coeficientes de determinação:

Coeficientes de determinação obtidos por regressão quadrática (R^2)		
	Hold	**Close**
Prod. Efectiva	0,164	0,120
Prod. Útil	0,164	0,094

Tabela 4-1 Regressão quadrática da correlação entre os ritmos e o desgaste dos cabos

Estes resultados, bem abaixo do valor 1, revelam que não existe correlação entre os ritmos das operações e o desgaste dos cabos. Por vezes os factores que julgamos mais relevantes poderão não ter tanto peso no desempenho dos componentes como inicialmente pensávamos. Embora seja aceite que o ritmo terá de fazer alguma diferença, o que é um facto é que haverá outros pressupostos e factores negligenciados numa primeira abordagem do diagrama causa efeito que poderão ter maior expressão na fundamentação das principais causas para o desgaste precoce dos cabos.

4.3 – Modelos de Fiabilidade

$$\bar{A} = \frac{MTTF}{MTTF + MTTR} \quad (4.1)$$

$\bar{A}$ (Disponibilidade média) -

A (t) = Probabilidade do elemento estar a funcionar no período t

MTTF (mean time to failure) – Tempo médio de funcionamento até ocorrer uma falha.

MTTR (mean time to repair) – Tempo médio de reparação após falha.

T – Tempo total de funcionamento dos equipamentos durante a recolha dos dados

PPH – Processo de Poisson Homogéneo

PPNH – Processo de Poisson Não Homogéneo

τ – Idade do sistema no momento da falha

4.3.1 – Recolha de dados

Do anexo II temos um mapa com dados referentes ás falhas técnicas registadas durante um ano de operações de descarga de Navios graneleiros.

Nestes dados estão excluídas as falhas que não sejam tecnicamente controláveis pela manutenção e que sejam resultantes da operação em si, como seja o erro operacional de manobra por parte dos operadores dos equipamentos, as falhas decorrentes das condições físicas do produto e ainda as falhas resultantes das condições climatéricas.

Estes mapas são referentes aos anos de 2006, 2007 e 2008 e permitem-nos retirar os seguintes dados para uma tabela de resumo:

Ano	Nº Avarias	MTTR (min)	Tempo Op (h)	T. Av (min)	T. acum (h)
2006	96	65,1	3028	6250	151394
2007	80	90,3	2322	7220	97917
2008	81	68,2	1864	5525	62425
TOTAL	257	-	7214	18995	311736
7220					

Tabela 4-2 Resumo dos dados recolhidos para efectuar os testes de hipóteses

Com estes dados estamos agora em condições de verificar alguns parâmetros de gestão de manutenção e fiabilidade para verificar e caracterizar o comportamento do sistema e suas falhas.

4.3.2 – Análise do comportamento da taxa de avarias (Teste de Laplace)

O Teste de Laplace vai-nos permitir testar se a taxa de avarias é constante ou apresenta tendência para os anos de 2006, 2007 e 2008.

Ho: Hipótese nula – A taxa de avarias obedece a um processo de Poisson Homogéneo.

H_1: Hipótese alternativa – A taxa de avarias não obedece a um processo de Poisson Homogéneo.

$$Zo = \sqrt{12 * nf} * \left[\frac{\sum_{i=1}^{nf} \tau i}{nf * T} - 0{,}5 \right] \tag{4.2}$$

Para que a Hipótese nula (Ho) não seja rejeitada, o valor de Zo terá de corresponder a uma probabilidade dentro da área central da curva de Gauss correspondente ao intervalo de confiança a que se atribuiu ao teste de Hipóteses:

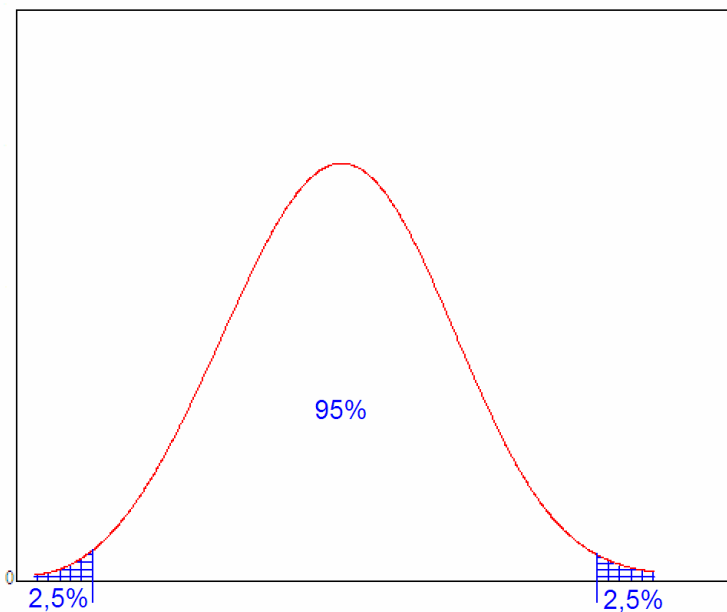



Fig - 4-10 Curva de Gauss para um intervalo de confiança de 95%

Na aplicação destes testes de Laplace vamos utilizar um nível de significância de α=5%, ou seja, um nível de confiança de 95%.

4.3.2.1 - Para as falhas ocorridas no ano de 2006

Temos 96 falhas que ao longo do ano corresponderam ao somatório das idades do sistema no momento de cada falha que totalizaram 151.394 horas.

O Tempo de observação do sistema é o tempo efectivo de operação em 2006 que corresponde a 3028 horas.

$$Zo = \sqrt{12*96} * \left(\frac{151394}{96*3028} - 0,5 \right) = +0,706$$

A estatística do teste deu o valor de 0,706 que corresponde a uma probabilidade de 0,761, na distribuição normal reduzida, para um nível de significância de 5% não se rejeita a Hipótese nula Ho. O teste aponta para a não rejeição da Hipótese dada 76,1%.

Analisando o comportamento destes dados, verificamos que o valor dentro do intervalo de confiança do teste indica que estamos na presença de um Processo de Poisson Homogéneo PPH com taxas de falha estáveis.

Para calcular a taxa de avarias e o MTBF utilizam-se as seguintes fórmulas:

$$MTBF = \frac{Tempo \cdot de \cdot operação}{n^{o} \cdot de \cdot falhas} \quad (4.3)$$

$$\lambda = \frac{1}{MTBF} \quad (4.4)$$

A taxa de avarias e o MTBF em 2006:

$$MTBF = \frac{3028}{96} = 31,54\, horas = 1892,5 \min utos$$

$$\lambda = \frac{1}{MTBF} = \frac{1}{1892,4} = 5,2843\, X 10^{-4}\, a \operatorname{var} ias / \min uto = 0,0317\, a \operatorname{var} ias / hora$$

A Disponibilidade dos equipamentos em 2006:

$$\overline{A} = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR} = \frac{1892,5}{1892,5 + 65,1} = 0,967$$

4.3.2.2 - Para as falhas ocorridas no ano de 2007

Temos 80 falhas que ao longo do ano corresponderam ao somatório das idades do sistema no momento de cada falha que totalizaram 97917 horas).
O Tempo de observação do sistema é o tempo efectivo de operação em 2007 que corresponde a 2322 horas.

$$Zo = \sqrt{12 * 80} * \left(\frac{97917}{80 * 2322} - 0,5 \right) = +0,792$$

A estatística do teste deu o valor de 0,792 que corresponde a uma probabilidade de 0,7852, na distribuição normal reduzida, para um nível de significância de 5% não se rejeita a Hipótese nula Ho. O teste aponta para a não rejeição da Hipótese do teste dada 78,5%.
Analisando o comportamento destes dados, verificamos que o valor dentro do intervalo de confiança do teste indica que estamos na presença de um Processo de Poisson Homogéneo PPH com taxas de falha estáveis.

A taxa de avarias e o MTBF em 2007:

$$MTBF = \frac{2322}{80} = 29,025\, horas = 1741,5 \min utos$$

$$\lambda = \frac{1}{MTBF} = \frac{1}{1741,5} = 5,74\, X\, 10^{-4}\, a \operatorname{var} ias / \min uto = 0,0345\, a \operatorname{var} ias / hora$$

A Disponibilidade dos equipamentos em 2007:

$$\overline{A} = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR} = \frac{1741,5}{1741,5 + 90,3} = 0,95$$

4.3.2.3 - Para as falhas ocorridas no ano de 2008

Temos 81 falhas que ao longo do ano corresponderam ao somatório das idades do sistema no momento de cada falha que totalizaram 62425 horas).

O Tempo de observação do sistema é o tempo efectivo de operação em 2008 que corresponde a 1864 horas.

$$Zo = \sqrt{12*81} * \left(\frac{62425}{1864*81} - 0,5 \right) = -2,7$$

A estatística do teste deu o valor de -2,7 que corresponde a uma probabilidade de 0,9965, na distribuição normal reduzida, para um nível de significância de 5% pelo que se rejeita a Hipótese nula Ho. Analisando o comportamento destes dados, verificamos que o valor negativo fora do intervalo indica que estamos na presença de um Processo de Poisson Não Homogéneo com taxas de falha decrescentes, revelando uma "Fiabilidade crescente", logo deve-se aplicar outro modelo mais adequado, como seja o modelo de Crow.

O MTBF calcula-se por: $$\beta* = \frac{nf}{\sum_{1}^{nf} \ln\left(\frac{T}{\tau i}\right)} = \frac{81}{\sum_{1}^{81} \ln\left(\frac{1864}{\tau i}\right)} = \frac{81}{126,35} = 0,646 \quad (4.5)$$

A taxa de avarias calcula-se por $$\lambda* = \frac{nf}{T^{\beta*}} = \frac{81}{1864^{0,646}} = 0,624 \quad (4.6)$$

$$\lambda(T = Tempo\ .anual\ .operação) = \lambda * \beta * T^{\beta-1} \quad (4.7)$$

$$\lambda(T = 1864) = \lambda * \beta * T^{\beta-1} = 0,624 * 0,624 * 1864^{0,646-1} = 0,028\ avarias\ /\ hora$$

Então o MTBF ao fim das 1864 h em que se deu a última avaria = 35,7 horas

A Disponibilidade dos equipamentos em 2008:

$$\bar{A} = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR} = \frac{35,7*60}{35,7*60 + 68,2} = 0,969$$

4.3.2.4 Para todas as falhas ocorridas entre 2006 e 2008

Temos 257 falhas que ao longo dos 3 ano corresponderam ao somatório das idades do sistema no momento de cada falha que totalizaram 954067 horas).O Tempo de observação do sistema é o tempo efectivo de operação 2006, 2007 e 2008 que corresponde a 7214 horas.

$$Zo = \sqrt{12 * 257} * \left(\frac{954067}{7214 * 257} - 0,5 \right) = +0,81$$

A estatística do teste deu o valor de +0,8 que corresponde a uma probabilidade de 0,209 na distribuição normal reduzida, para um nível de significância de 5% pelo que não se rejeita a Hipótese nula Ho. Analisando o comportamento destes dados, verificamos que o valor dentro do intervalo indica que estamos na presença de um Processo de Poisson Homogéneo com taxas de falha crescentes, revelando uma "Fiabilidade decrescente".

A taxa de avarias e o MTBF entre 2006 e 2008:

$$MTBF = \frac{7214}{257} = 28,07\, horas = 1684,2 \min utos$$

$$\lambda = \frac{1}{MTBF} = \frac{1}{1684,2} = 5,94\, X\, 10^{-4}\, a \text{ var } ias / \min uto = 0,0356\, a \text{ var } ias / hora$$

A Disponibilidade dos equipamentos entre 2006 e 2008:

$$\bar{A} = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR} = \frac{1684,2}{1684,2 + 74,56} = 0,958$$

4.3.2.5 – Os dados referentes aos parâmetros de manutenção entre os anos de 2006 e 2008 poderão ser resumidos no seguinte quadro:

Ano	Nº Av.	MTBF (h)	MTBF (min)	MTTR (min)	Disp.	T. Op (h)	T. Av (min)	T. acum (h)	Zo	%	λ (av/h)
2006	96	31:54	1892	65,1	0,967	3028	6250	151394	0,706	76,10	0,0317
2007	80	29:03	1742	90,3	0,950	2322	7220	97917	0,792	78,52	0,0345
2008	81	35:07	2142	68,2	0,969	1864	5525	62425	-2,700	99,65	0,0280
Entre 2006 e 2008	257	28:07	1684	74,56	0,958	7214	18995	954067	0,811	20,90	0,0356

Tabela 4-3 Resumo dos parâmetros de manutenção obtidos.

Podemos afirmar que a taxa de avarias tem registado uma diminuição nos últimos 3 anos.

Nos anos 2006 e 2007 tivemos taxas de falhas estáveis dentro de um processo de Poisson Homogéneo e que em 2008 tivemos taxas de falhas decrescentes o que indicia que estas avarias tiveram o comportamento de um processo de Poisson Não Homogéneo. Em termos globais (entre 2006 e 2009) o processo apresenta-se igualmente estável como um PPH.

5 – Manutenção preventiva de componentes

5.1 – Introdução

Os cabos de aço dos descarregadores revestem-se da maior importância na operação com gruas portuárias, visto tratar-se do componente cuja vida útil é bastante mais curta em relação aos outros componentes, uma vez que estes estão em contacto com a estrutura dos porões das embarcações, com as cargas, trabalhando nos tambores e roldanas a velocidades elevadas que os sujeita a esforços de tracção, flexão, fricção, desgaste e corrosão.

A complexidade, frequência, custos da sua manutenção, assim como os elevados tempos de paragens que a falha deste componente provoca, leva-nos a dedicar especial atenção no estudo deste componente bastante crítico.

5.1.1 – Descrição do componente

Um cabo de aço é composto por vários cordões formados por algumas dezenas de fios enrolados em torno de um cordão central chamado alma, que pode ser de fibra de sisal ou composto por fios metálicos, com um determinado passo.

Os cabos que vamos analisar particularmente neste estudo serão os cabos de construção WRC 6X36 Warrington-seale com diâmetros de 38 e 42 mm não galvanizados. Esta designação técnica quer dizer que se tratam de cabos com alma de aço (Wire Rope Core) formados por 6 cordões, cada um composto por 36 arames, entrelaçados entre si em torno da alma que também é formada por um cordão que não é considerado para efeitos de resistência à tracção.

5.1.2 – Manutenção do componente

Um cabo de aço é alvo de uma inspecção visual, entre cada operação, e procede-se à sua substituição se, se verificarem algumas das seguintes condições:

- 18 Arames partidos visíveis num comprimento de 6 x Diâmetro do cabo.
- 35 Arames partidos visíveis num comprimento de 30 x Diâmetro do cabo.
- Se o diâmetro do cabo ficar reduzido em mais de 10% em relação ao diâmetro nominal.
- Se o cabo apresentar indícios de corrosão interna.

Quer dizer que um cabo de 42mm não pode ter mais de 18 arames partidos numa extensão de 252mm, nem mais de 35 arames partidos numa extensão de 1260mm, nem ter o seu diâmetro abaixo dos 38mm.

Para os cabos do Trolley de 38mm, estes não pode ter mais de 18 arames partidos numa extensão de 228mm, nem mais de 35 arames partidos numa extensão de 1140mm, nem ter o seu diâmetro abaixo dos 32mm.

Sempre que seja necessário realizar uma intervenção nos cabos, desenrola-se o cabo usado do respectivo tambor, cuja extremidade está ligada a um cabo-guia, até apanhar o cabo guia e procede-se à ligação do cabo novo ao cabo guia e volta-se a enrolar este conjunto até o cabo novo estar instalado no tambor. Antes de se realizar qualquer corte num cabo é necessário enrolar com um arame fino as extremidades para que o cabo não destrance com o corte (Fig-5-1). Depois de o cabo novo estar na sua posição deve-se unir a ponta a um terminal de pêra, destrançando o cabo e vazando uma resina epóxida de dois componentes de secagem rápida (Fig-5-2).

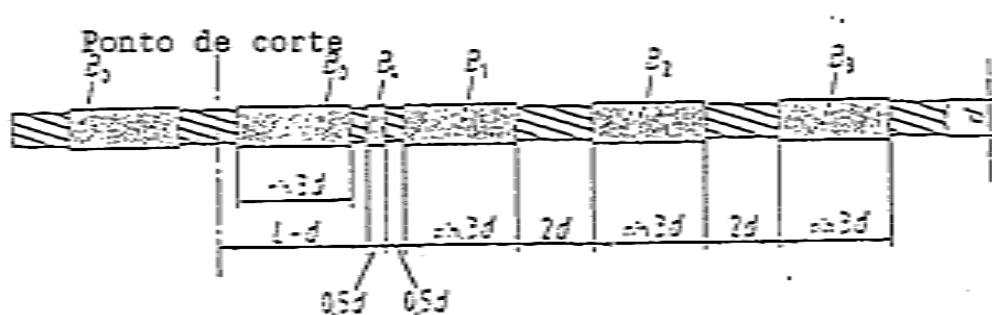



Fig - 5-1 Preparação de um cabo para se realizar um corte.

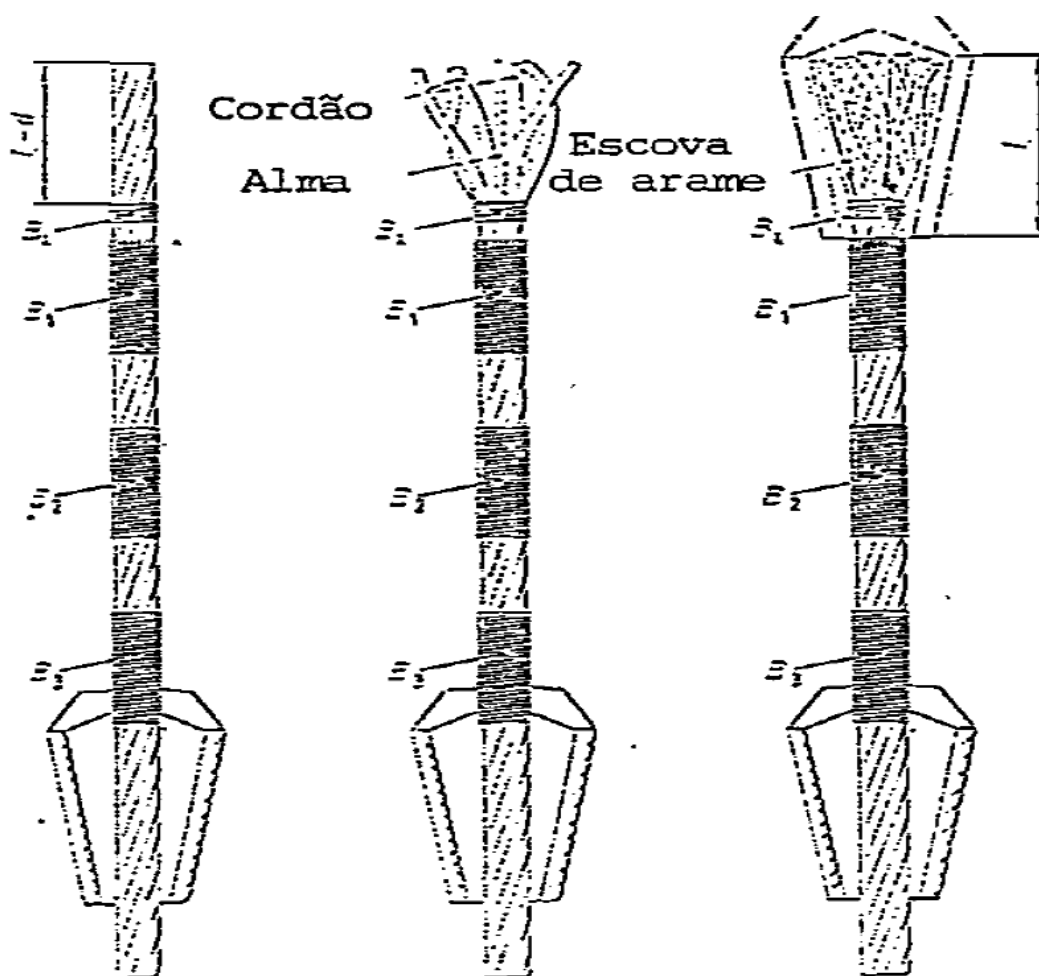



Fig - 5-2 Preparação do terminal de pêra para enchimento com resina epóxida

Este procedimento permite colocar o cabo operacional e capaz de suportar as cargas nominais uma hora após a aplicação da resina epóxida no terminal de pêra. Contudo a maioria do tempo de manutenção dos cabos envolve os procedimentos de apanhar a ponta, desenrolar o cabo do tambor e por fim a preparação do cabo para enchimento do terminal de pêra.

Os cabos de elevação e fecho (Hold e Close) são intervencionados aos pares (cabo esquerdo e direito), visto que estes são enrolados em conjunto no mesmo tambor, ao passo que os cabos do trolley são substituídos independentemente uns dos outros.

No esquema representado abaixo (Fig-5-3), podemos ver o princípio de funcionamento de um descarregador de navios de granéis sólidos com os 3 guinchos que actuam sobre os diferentes pares de cabos:

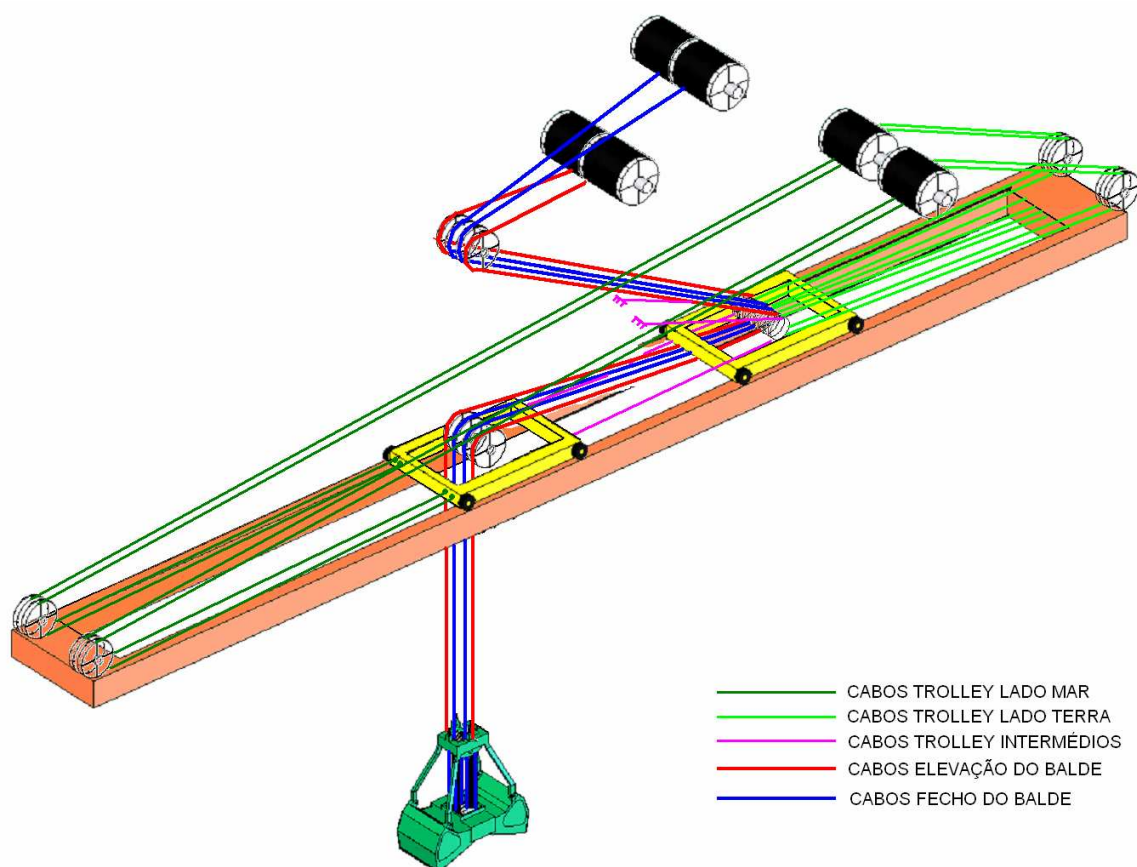



Fig - 5-3 – Esquema de funcionamento dos guinchos dos cabos

5.1.3 – Descrição do funcionamento dos cabos num descarregador

Os cabos de elevação e fecho do balde têm um diâmetro de 42mm e são os cabos que suportam toda a carga vertical. O desfasamento do curso entre estes cabos faz com que o balde mecânico, de 14,5 toneladas de peso próprio e 27m3 de volume, abra e feche para recolher e largar granéis sólidos.

Os cabos do trolley, que realizam a translação horizontal do Balde (Lado do Mar e Lado de Terra), têm um diâmetro de 38mm e fazem o deslocamento horizontal do Balde, actuado por um guincho de tambor duplo, que acciona os 2 trolleys (carros). Através de um cabo intermédio, o trolley do balde tem o dobro da velocidade do trolley dos cabos.

5.2 – Estudo da duração dos componentes e custos associados

Neste capítulo vamos determinar qual a duração média de cada tipo de cabo em operação, qual o período óptimo para a sua substituição preventiva e quais os custos associados a deixar o cabo instalado até ao fim do ciclo de vida versus a sua substituição preventiva.

Os cabos que serão analisados serão de todos os tipos relevantes na operação e na manutenção que são os Cabos de:

- Elevação ou suspensão do Balde (Hold) de 42mm de diâmetro;
- Fecho do Balde (Close) de 42mm de diâmetro;
- Carro de movimento Horizontal do Balde Lado de Terra (Trolley L.T.) de 38mm de diâmetro;
- Carro de movimento Horizontal do Balde do Lado do Mar (Trolley L.M.) de 38mm de diâmetro;

Cada trabalho de intervenção nos cabos tem sempre uma complexidade técnica, devido ao elevado peso linear deste componente (Cerca de 7 Kg/metro) que obriga à utilização de guinchos e suportes de difícil manuseamento.
As intervenções preventivas têm o inconveniente de reduzir o tempo médio de duração deste componente, o que faz aumentar os custos de manutenção, mas permitem evitar intervenções correctivas que acarretarão custos operacionais muito mais elevados. O desafio será tentar optimizar a vida útil do cabo sem correr risco de este se romper em plena operação.

5.2.1 – Determinação dos custos com a manutenção preventiva e correctiva dos cabos de elevação, fecho e trolley LT e trolley LM

Tomando como valores o tempo em horas que demora a realizar uma acção de manutenção correctiva que consiste no corte ou substituição deste tipo de cabos, durante uma operação em curso, estimou-se que este tempo médio rondará os 378 minutos (Tabela 5-1) o que para um custo médio por hora de paragem operacional corresponderá a cerca de 1611€/hora cada descarregador o que implica um custo médio de 5076€ por avaria de cabos em operação (Tabela 5-2).

Tempo reparação dos cabos em operação (min)			
	Trolley LM e LT	Hold e Close	Hold e Close (cont...)
	460	260	560
	965	485	360
	775	315	115
	1235	310	225
	630	485	575
	1350	415	310
		420	255
		306	230
		460	475
		350	230
		680	475
		305	230
		420	350
		300	545
		710	240
		330	
Média (min)	902,5	-	378,3
Média (horas)	15,0	-	5,8

Tabela 5-1 Tempos de reparação cabos do Trolley (38mm) e do Hold/Close (42 mm)

Custo médio dos Navios (1,4 USD$ =>1€)				
ANO	USD$/dia	€/dia	€/hora	€/hora efectivo
2004	48.347	34.534	1.439	719
2005	43.984	31.417	1.309	655
2006	33.072	23.623	984	492
2007	64.910	46.364	1.932	966
2008	80.392	57.423	2.393	1.196
2009*	15.885	11.346	473	236
* valor provisório do 1º semestre		Média	**1.611 €**	**806 €**

Tabela 5-2 Custos com a sobreestadia dos Navios

Por outro lado, poderemos analisar os custos de manutenção preventiva como seja o custo do material durar menos e ficar sujeito a um nº maior de intervenções ao longo do seu ciclo de vida.

O custo de um par de cabos com 242 metros de comprimento é de cerca de 2800€ x 2 = 5.600€, está sujeito a 5 cortes, então dividindo este custo por 5 obtemos o valor a que se adicionará o custo médio de 150€, pelo que cada corte custará 1.270€.

Em baixo estão descriminados os custos de tipos diferentes de intervenções habituais nos cabos de elevação e fecho de Φ42mm e nos cabos do trolley de Φ38mm. Estes valores foram retirados do sistema de gestão de manutenção, em que todos os materiais utilizados nos trabalhos são lançados na respectiva ordem de Trabalho (OT).

- O primeiro trabalho é um corte simples de 30 metros dos cabos de elevação Φ42mm, em que se recorre à reserva do tambor deste guincho.
- A segunda descrição de trabalho refere-se a uma substituição com bobinagem de novos cabos de Elevação de Φ42mm.
- O terceiro caso é uma substituição de um cabo do trolley do lado de terra de Φ38mm com o comprimento de 114,5 metros.
- O quarto caso é é uma substituição de um cabo do trolley do lado do mar de Φ38mm com o comprimento de 153 metros. Neste caso o custo apenas difere do anterior devido ao maior comprimento deste.

5.2.2 – Relatórios dos custos com os trabalhos de manutenção dos cabos dos descarregadores:

Descrição Trabalho - Corte de 30 metros de cabo.

Artigos Aplicados

Artigo	Descrição	Data	Quantidade	Custo
E.DS.CAC.281	Resina Wirelock 500cc	21-07-2008	3,00	95,81
Z.CS.DSC.280	Disco de Corte 180 X 3.2 X 22	21-07-2008	2,00	1,62
Z.CS.PDL.310	Hempel's Navi Wash 99330-00000	21-07-2008	10,00	24,00
Z.CS.PDL.100	Produto de Limpeza SILSTAR	21-07-2008	10,00	28,42
		Total Trabalho		**149,85 €**

Descrição Trabalho - Substituição de cabos de elevação.

Artigos Aplicados

Artigo	**Descrição**	**Data**	**Quantidade**	**Custo**
E.DS.CAB.031	Cabo Dirº6x36WS Dia.42 c/242m	28-05-2008	1,00	2.813,50
Q.LU.MSC.000	Massa p/Cabos Renolit CAB2	28-05-2008	80,00	399,20
Z.CS.DSC.280	Disco de Corte 180 X 3.2 X 22	28-05-2008	2,00	1,52
E.DS.CAC.281	Resina Wirelock 500cc	28-05-2008	3,00	88,50
Z.CS.TRP.010	Trapo Novo Cor	28-05-2008	25,00	27,50
Z.CS.PDL.180	Solvente de Limpeza SILSOL TD	28-05-2008	20,00	39,00
E.DS.CAB.032	Cabo Esqº6x36WS Dia.42 c/242m	28-05-2008	1,00	2.812,68
		Total Trabalho		**6.181,90€**

Descrição Trabalho - Substituição do cabo - 72283 - DS2 Cabos Trolley L. Terra - Ext. Dir

Artigos Aplicados

Artigo	**Descrição**	**Quantidade**	**Custo**
Q.LU.MSC.000	Massa p/Cabos Renolit CAB2	40,00	199,60
E.DS.CAC.281	Resina Wirelock 500cc	2,00	62,26
E.DS.CAB.012	Cabo Aço Dia.38x114,5 6x36SW-CWR	1,00	1.101,12
C.CA.ELO.510	Elo Corrente Inox Roscado Dia. 10mm	1,00	6,04
		TOTAL	**1. 369,02€**

Descrição Trabalho - Substituição do cabo - 72098 - DS2 - Cabo Trolley L.M. Int. Esq.

Artigos Aplicados

Artigo	**Descrição**	**Quantidade**	**Custo**
E.DS.CAB.021	Cabo Aço Dia.38x153m 6x36SW-CWR	1,00	1.150,02
Q.LU.MSC.000	Massa p/Cabos Renolit CAB2	40,00	199,60
E.DS.CAC.281	Resina Wirelock 500cc	2,00	59,00
Z.CS.PDL.180	Solvente de Limpeza SILSOL TD	20,00	36,60
Q.PL.MAG.150	Manga Plástica p/ Embalagem,	5,00	10,50
		TOTAL	**1.455,72€**

5.2.3 – Duração média dos cabos em operação

Com estes dados já apurados falta-nos saber qual a frequência e duração média dos cabos em operação que nos permitam determinar o período óptimo de manutenção/substituição preventiva deste componente, permitindo redução de custos operacionais que têm mais peso que os custos de manutenção preventiva.

As tabelas com valores de duração dos cabos estão no anexo III, (Tabela III-1, III-2 e III-3) deste trabalho, onde podemos verificar os dados ordenados cronologicamente e alternados entre o DS1 E DS2 com a indicação dos dados sujeitos a censura.

Como o comportamento tanto dos cabos de elevação do descarregador DS1, como no DS2, são em tudo semelhantes e trabalham exactamente nas mesmas condições pelo que faz todo o sentido juntar os dados de ambos. Na coluna da duração estão intercalados os valores do mesmo tipo de cabos, dos dois descarregadores.

O mesmo se aplica para os cabos de abertura e fecho (Close) dos descarregadores. Contudo, estes cabos têm condições e cargas de trabalho diferentes devido á especificidade da sua actuação e operação na elevação das cargas, visto não estarem tão sujeitos à abrasão e trabalham mais 20% do tempo, o que conduz a que estes tenham uma duração bastante superior, logo serão sujeitos a uma análise diferenciada.

Os cabos do Trolley são diferenciados pela sua posição em relação ao lado de terra e lado do mar cujos respectivos comprimentos de 114,5 e 153 metros fazem com que a fadiga se sinta primeiro nos de menor comprimento dado que os primeiros acabam por circular mais intensivamente nas roldanas. Assim, juntamos os dados dos cabos dos trolleys dos dois descarregadores, mas diferenciamos pelos cabos do Trolley LT e LM.

5.2.4 – Determinação dos parâmetros estatísticos da duração dos cabos em operação

Para determinarmos os parâmetros de forma e de escala da distribuição, referentes à duração média dos quatro tipos de cabos em estudo, (Hold, Close, Trolley LT e Trolley LM), vamos pegar nos dados históricos de cada intervenção que obrigou à sua substituição ou corte, e vamos listá-los numa tabela com a coluna da duração de cada cabo em Milhares de toneladas, e numa coluna ao lado vamos indicar a censura que cada dado estará sujeito (1=Não censurado; 0 = Censurado).

Para os cabos do Hold e Close consideramos sujeitos a censura todos os valores abaixo das 100 Mil toneladas, visto que uma intervenção antes desta marca indica que o cabo teria má qualidade de fabrico ou que foi sujeito a uma má instalação ou ainda que foi operado de forma severa ou inadequada. Qualquer um destes factores poderá ter induzido uma fadiga precoce que não corresponde ao seu funcionamento normal. Atendendo que em cada Navio um Descarregador movimenta cerca de 75 Mil toneladas qualquer valor de duração a rondar este número indica-nos que apenas foi possível realizar uma operação com o mesmo cabo o que será um valor insustentável do ponto de vista do desempenho deste componente.

Para os cabos do Trolley LT e LM consideramos sujeitos a censura todos os valores abaixo de 1 Milhão toneladas porque de todas as vezes que se verificaram valores abaixo desta marca foram sempre causas anómalas (erro operacional ou má qualidade do cabo).

Para fazer a modelação dos dados vamos recorrer ao software Statistica através dos seguintes menus: *"Statistics \ Industrial Estatistcs & Six-sigma \ Process analysis \ analysis"* em que vamos obter os parâmetros de escala e de forma da distribuição de Weibull referente aos dados inseridos. Realizado este cálculo, obtemos os parâmetros e podemos retirar os dados e os diversos gráficos da distribuição em estudo.

Em seguida vamos ao menu:

"Statistics \ Probabily Calculator \ Distributions \ Weibull", onde vamos inserir os parâmetros de escala e de forma da distribuição obtida para determinar a função densidade da distribuição de Weibull assinalando a área correspondente ao nível de confiança de 95%.

Para determinar o gráfico da distribuição de Weibull correspondente, vamos ao menu: *Statistics\Probability Calculator* - > *Weibull* e atribuimos os parâmetros de forma, de escala e o intervalo de confiança a 0,95 que corresponde a 95%.

5.2.4.1 – Determinação dos parâmetros dos Cabos do Hold DS1 e DS2

Utilizando os dados da tabela III-1 na aplicação STATISTICA 7 pela análise de processo obtemos os valores apresentados na tabela com os parâmetros de forma (β) e de escala (η) da distribuição de Weibull e ainda as médias e desvios padrão para cada um dos quatro tipos de cabos dos descarregadores. Depois será apresentada a figura seguinte que é o Histograma dos dados do cabo em análise e mais abaixo serão apresentados vários gráficos para análise da estimativa da Função de risco e Função Fiabilidade. Por último, será apresentado a função distribuição de Weibull e densidade probabilidade do cabo em estudo no intervalo de confiança atribuído a 95%.

PARÂMETROS DA DISTRIBUIÇÃO DE WEIBULL - CABOS HOLD						
Tipo de cabos	**Forma β**	**Escala η**	**Nº Obs.**	**Cens.**	**Média**	**Desv. P.**
Cabos Hold Diam. 42	2,25	309,68	319	32	252,20	657,33

Fig - 5-4 Parâmetros de forma (β) e de escala (η) da distribuição de Weibull, Médias e desvios padrão da duração dos Cabos Hold.

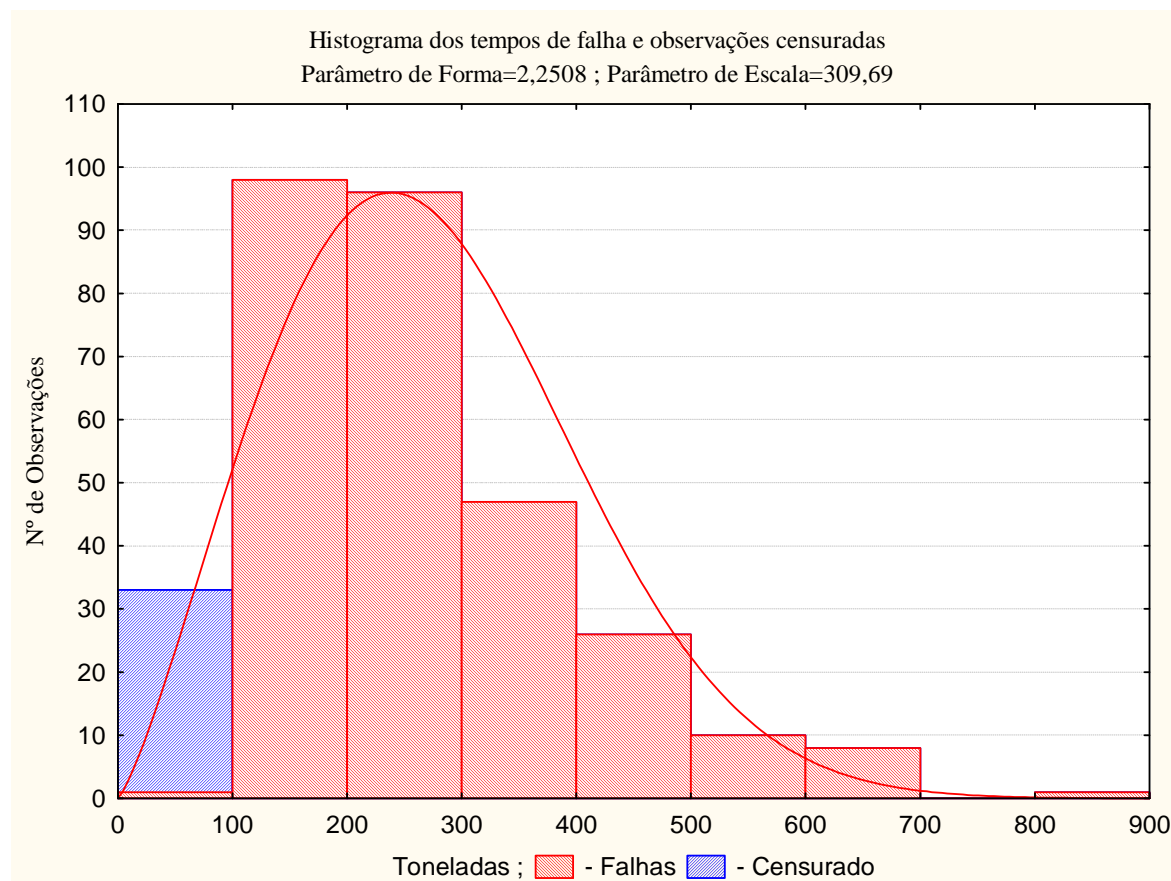



Fig - 5-5 Histograma dos dados dos cabos do Hold

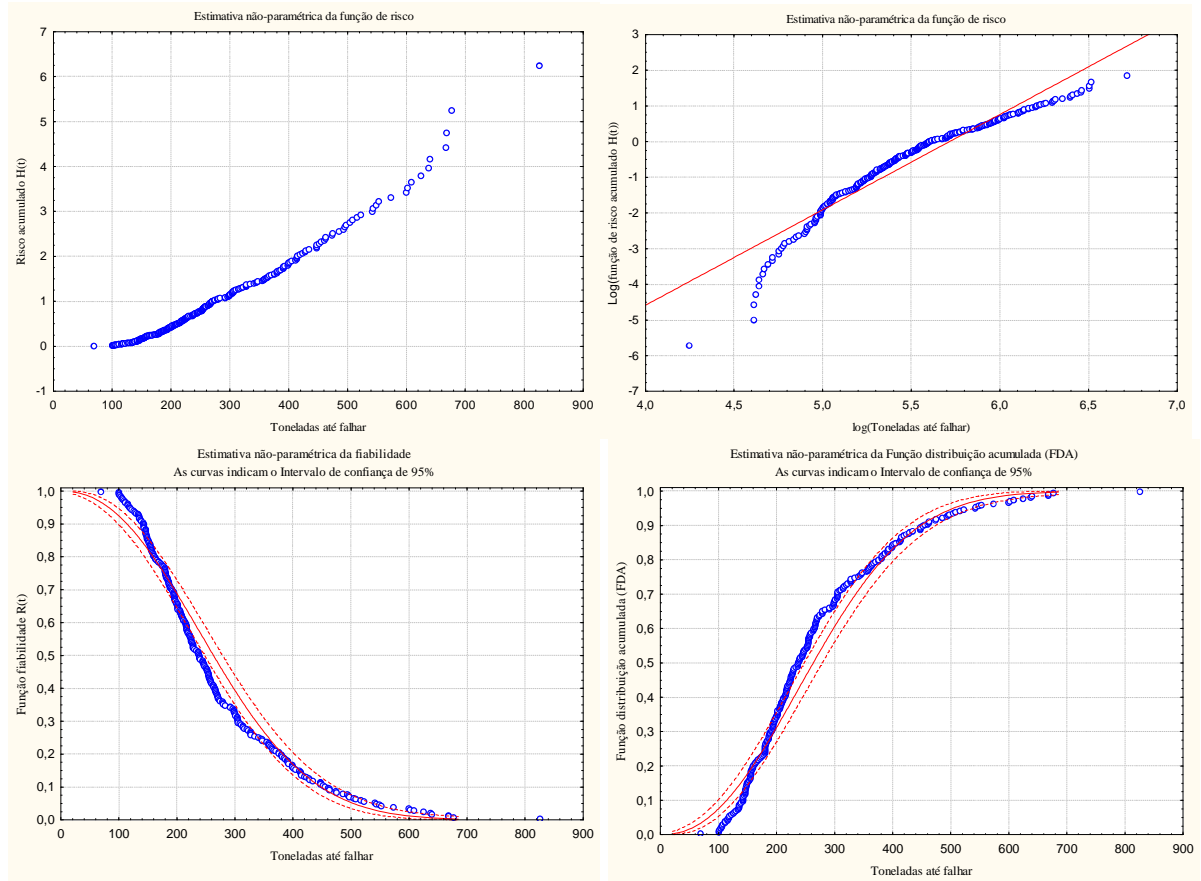



Fig - 5-6 Gráficos com os estimadores das funções de risco e de fiabilidade dos cabos do Hold

Os gráficos acima permitem-nos verificar se a modelação dos tempos de vida dos cabos de aço se ajustam numa distribuição de weibull num intervalo de confiança de 95%. Verificam-se uns pequenos desvios da função de risco fora do intervalo de confiança, mas pode-se considerar o ajustamento adequado.

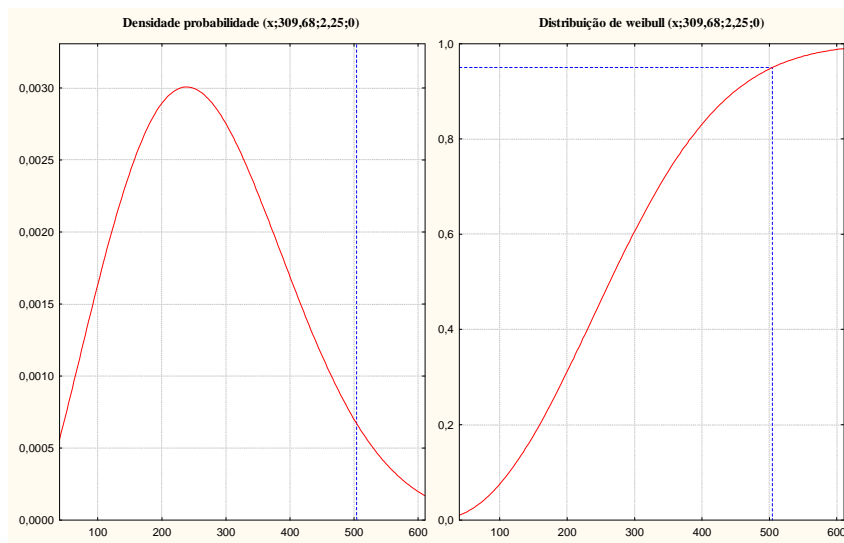



Fig - 5-7 Função densidade probabilidade e distribuição de falha dos cabos do Hold

5.2.4.2 – Determinação dos parâmetros dos Cabos do Close DS1 e DS2

Utilizando os dados da tabela III-2 do anexo III na aplicação STATISTICA 7 pela análise de processo Weibull determinamos os seguintes parâmetros para os cabos do CLOSE DS1 e DS2.

PARÂMETROS DA DISTRIBUIÇÃO DE WEIBULL - CABOS CLOSE						
Tipo de cabos	**Forma β**	**Escala η**	**Nº Obs.**	**Cens.**	**Média**	**Desv. P.**
Cabos Close Diam. 42	1,65	532,28	197	11	448,00	327,13

Fig - 5-8 Parâmetros de forma (β) e de escala (η) da distribuição de Weibull, Médias e desvios padrão da duração dos Cabos Close

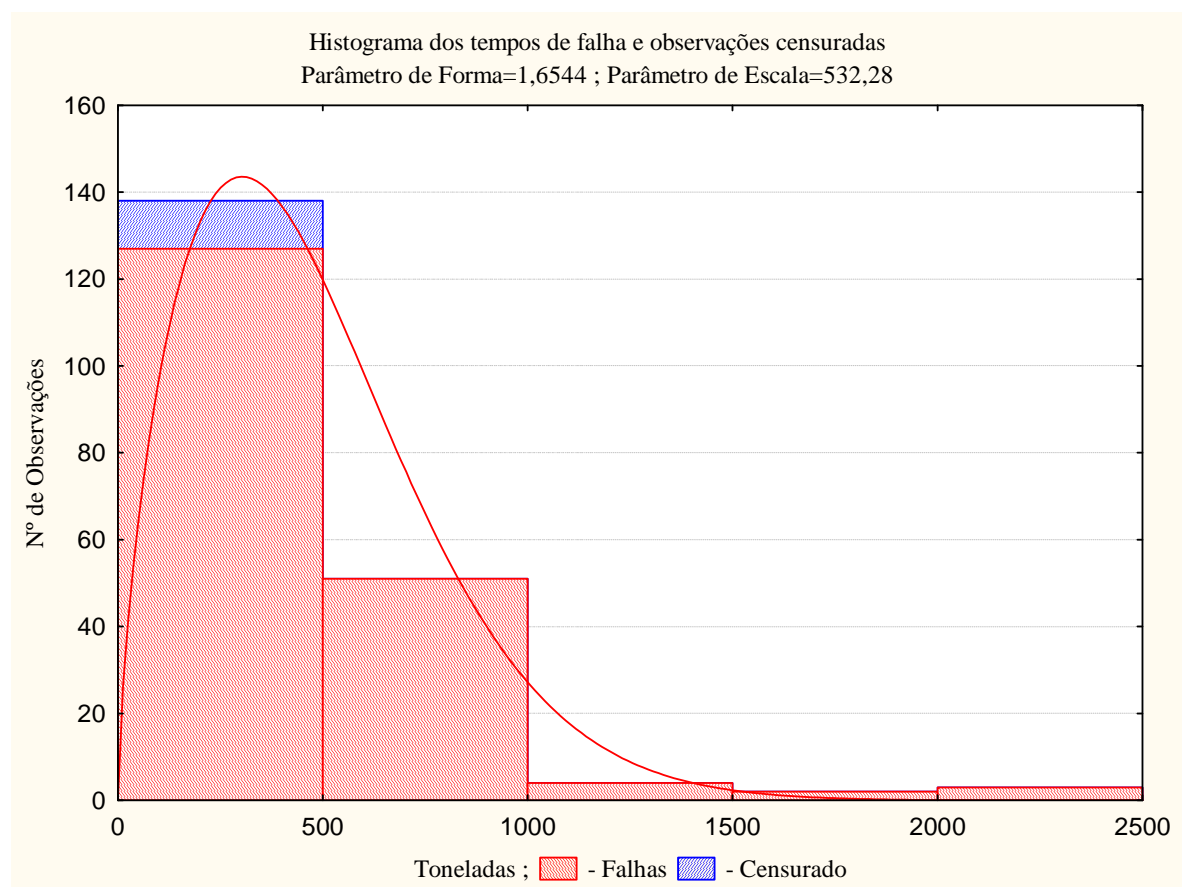



Fig - 5-9 Histograma com as classes de duração dos cabos do Close

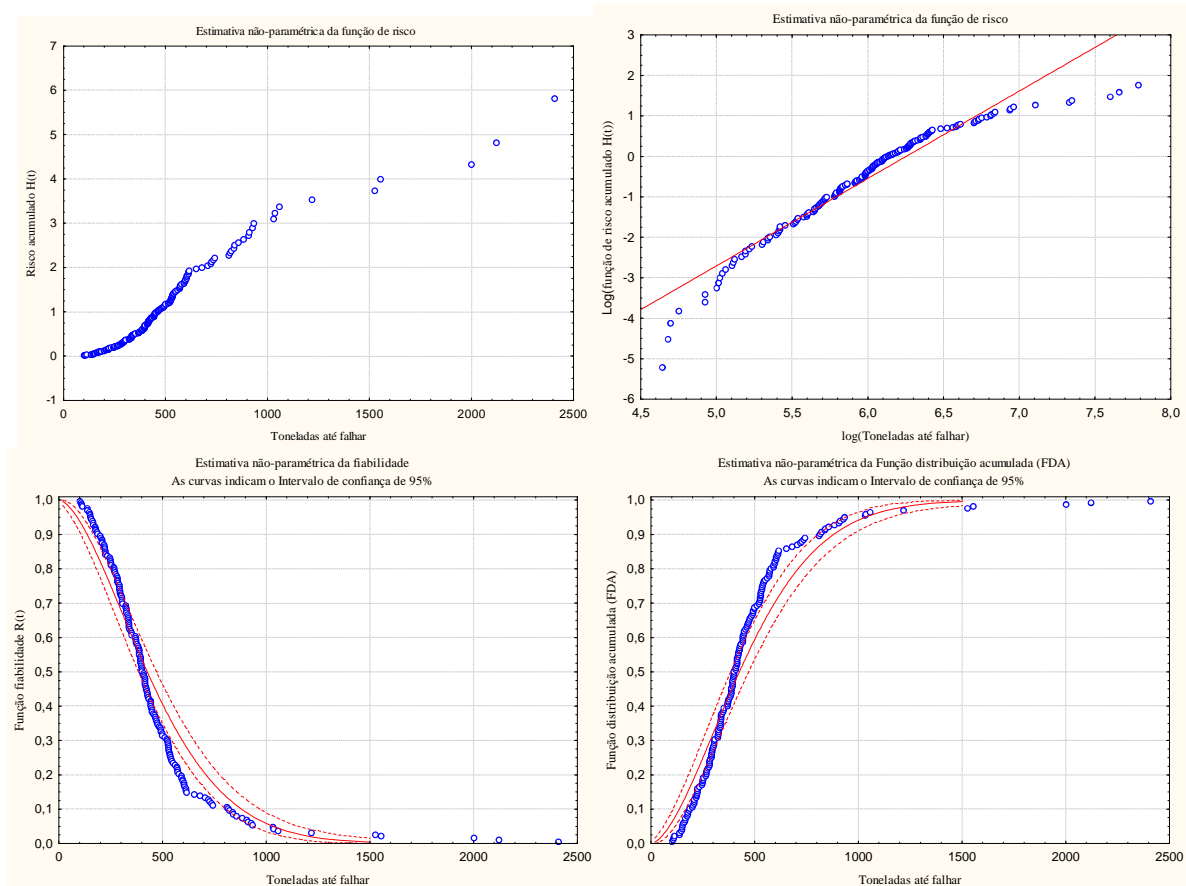



Fig - 5-10 Gráficos com os estimadores das funções de risco e de fiabilidade dos cabos do Close

Os gráficos acima permitem-nos verificar se a modelação dos tempos de vida dos cabos de aço se ajustam numa distribuição de weibull num intervalo de confiança de 95%. Verificam-se uns pequenos desvios da função de risco fora do intervalo de confiança, mas pode-se considerar o ajustamento adequado.

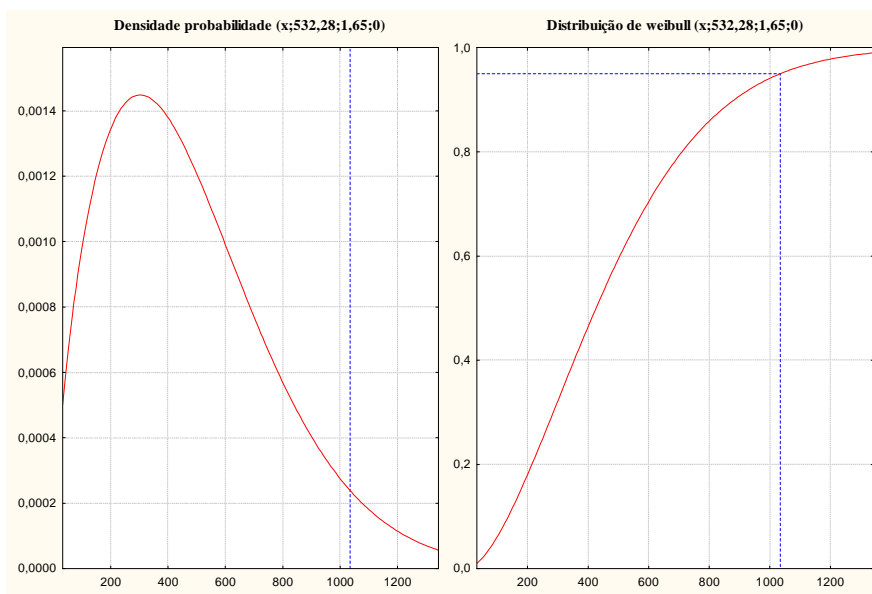



Fig - 5-11 Função densidade probabilidade e distribuição de falha dos cabos do Close

5.2.4.3 – Determinação dos parâmetros dos Cabos do Trolley Lado de Terra do DS1 e DS2

PARÂMETROS DA DISTRIBUIÇÃO DE WEIBULL - CABOS TROLLEY LT						
Tipo de cabos	**Forma β**	**Escala η**	**Nº Obs.**	**Cens.**	**Média**	**Desv. P.**
Cabos Trolley - Lado Terra Diam. 38	2,31	4460,49	80	3	3812,24	1925,90

Fig - 5-12 Parâmetros de forma (β) e de escala (η) da distribuição de Weibull, Médias e desvios padrão da duração dos Cabos do Trolley Lado de Terra

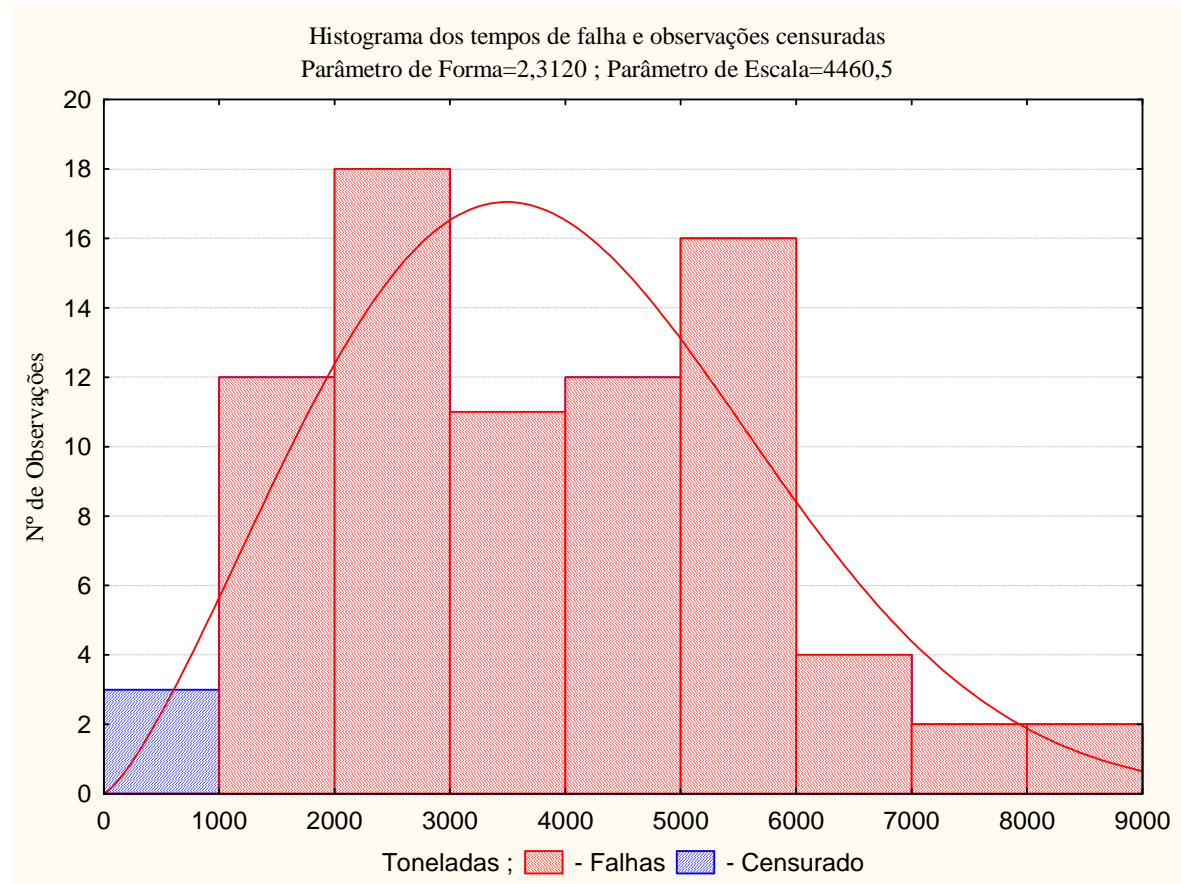



Fig - 5-13 Histograma com as classes de duração dos cabos do Trolley Lado de Terra

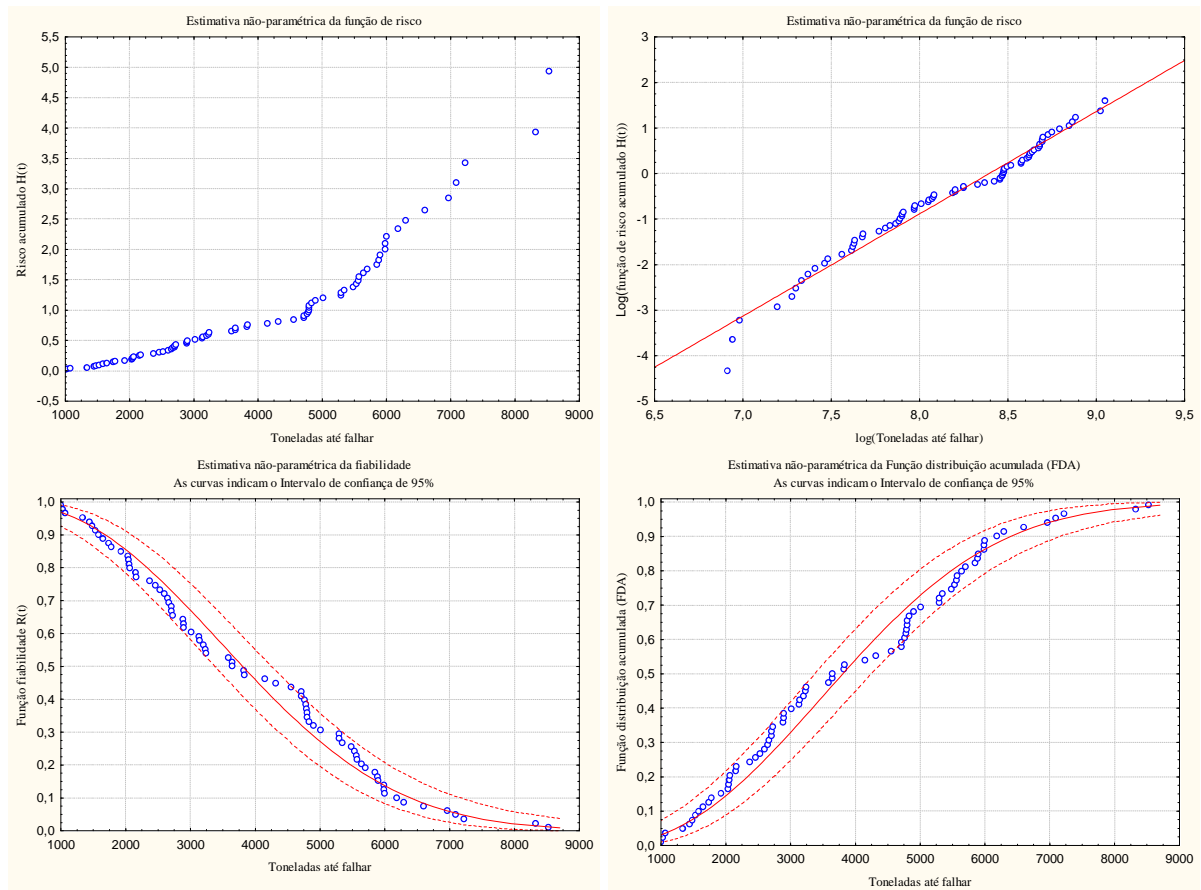



Fig - 5-14 Gráficos com os estimadores das funções de risco e de fiabilidade dos cabos do Trolley lado de Terra

Os gráficos acima permitem-nos verificar que a modelação dos tempos de vida dos cabos de aço do Trolley LT se ajustam na distribuição de weibull num intervalo de confiança de 95%. Neste caso já não se verificam desvios na função de risco, fora do intervalo de confiança, pelo que se pode considerar o ajustamento adequado.

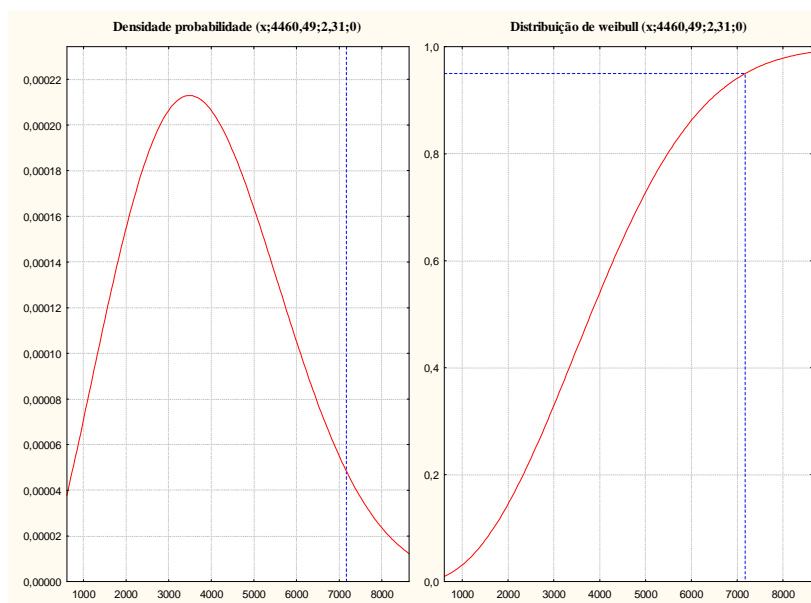



Fig - 5-15 Função densidade probabilidade e distribuição de falha dos cabos Trolley Lado de Terra

5.2.4.4 – Determinação dos parâmetros dos Cabos do Trolley Lado do Mar do DS1 e DS2

PARÂMETROS DA DISTRIBUIÇÃO DE WEIBULL - CABOS TROLLEY LM						
Tipo de cabos	**Forma β**	**Escala η**	**Nº Obs.**	**Cens.**	**Média**	**Desv. P.**
Cabos Trolley - Lado Mar Diam. 38	1,88	5624,23	65	2	4840,00	2873,25

Fig - 5-16 Parâmetros de forma (β) e de escala (η) da distribuição de Weibull, Médias e desvios padrão da duração dos Cabos do Trolley Lado do Mar

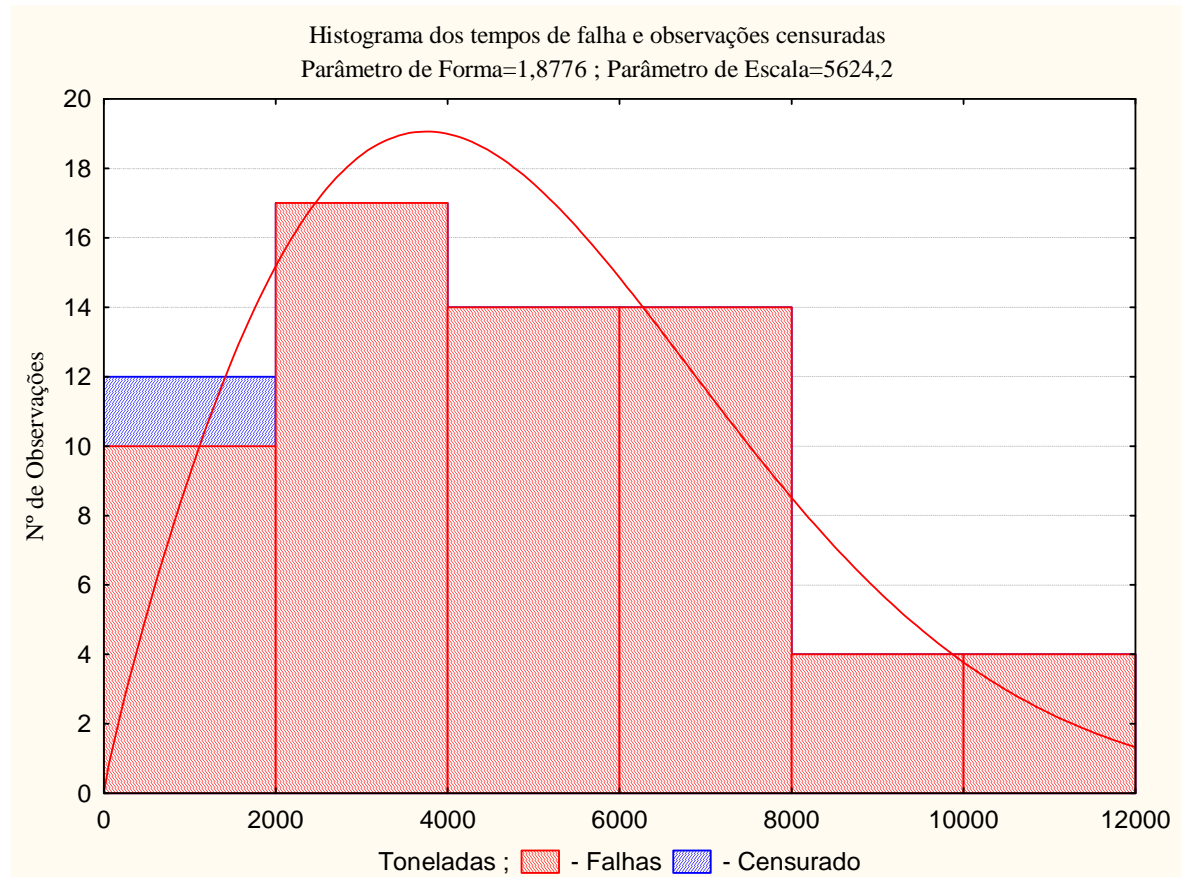



Fig - 5-17 Histograma com as classes de duração dos cabos do Trolley Lado do Mar

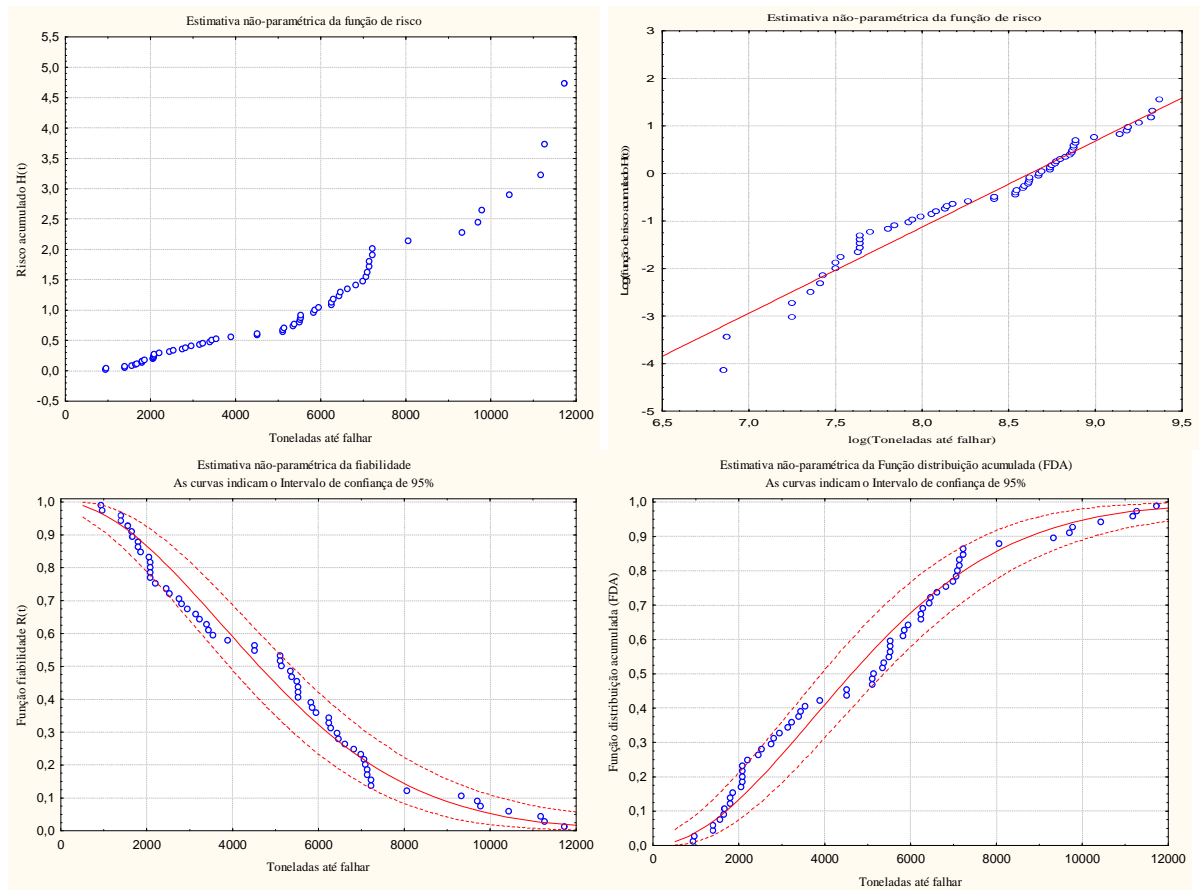



Fig - 5-18 Gráficos com os estimadores das funções de risco e de fiabilidade dos cabos do Trolley lado do Mar

Os gráficos acima permitem-nos verificar que a modelação dos tempos de vida dos cabos de aço do Trolley LM se ajustam na distribuição de weibull num intervalo de confiança de 95%. Neste caso também já não se verificam desvios na função de risco, fora do intervalo de confiança, pelo que se pode considerar o ajustamento adequado.

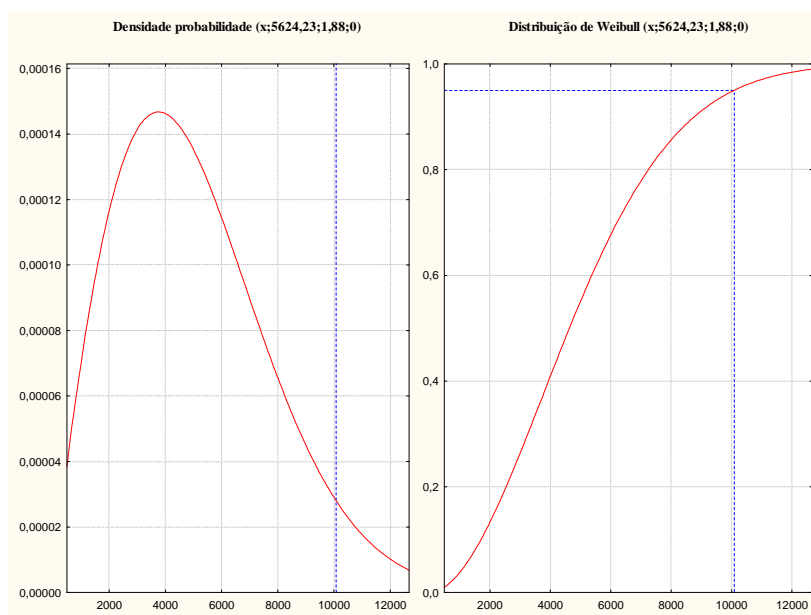



Fig - 5-19 Função densidade probabilidade e distribuição de falha dos cabos Trolley Lado do Mar

5.2.4.5 – Com a modelação feita aos quatro tipos de cabos diferentes, obtemos assim os seguintes parâmetros resumidos na tabela abaixo:

PARÂMETROS DA DISTRIBUIÇÃO DE WEILLBUL						
Tipo de cabos	**Forma β**	**Escala η**	**Nº Obs.**	**Cens.**	**Média**	**Desv. P.**
Cabos Hold Diam. 42	2,25	309,68	319	32	252,20	657,33
Cabos Close Diam. 42	1,65	532,28	197	11	448,00	327,13
Cabos Trolley - Lado Terra Diam. 38	2,31	4460,49	80	3	3812,24	1925,90
Cabos Trolley - Lado Mar Diam. 38	1,88	5624,23	65	2	4840,00	2873,25

Tabela 5-3 Resumo dos parâmetros obtidos pela modelação dos tempos de vida dos cabos de aço

Ficamos assim com a modelação dos tempos de vida de cada tipo de cabos e estamos em condições de estimar os parâmetros (Função densidade probabilidade, função de fiabilidade e a função do custo que nos permita determinar qual o tempo de duração a partir do qual se incorre num risco de avaria (probabilidade superior a 0,95) com custos superiores aos da manutenção preventiva.

5.3 - Cálculo do período óptimo de manutenção preventiva dos componentes

5.3.1 – Metodologia

Para realizar o cálculo do período óptimo de manutenção preventiva dos cabos dos descarregadores e custos de manutenção preventiva e correctiva associados seguiremos os seguintes passos:.

- Após obtermos a estimativa dos parâmetros, é possível estimar os tempos de substituição preventiva de acordo com a fiabilidade desejada para o componente (Dias e Pereira) sem considerar os custos envolvidos na manutenção preventiva ou correctiva.
- Utilizando os dados da tabela 5-1 referente à duração das intervenções em operação relacionando-a com o custo operacional das paragens correctivas obtemos o Custo total da intervenção correctiva (cf) ou custo de falha intempestiva.
- Com os dados dos custos do componente e custos envolvidos na sua reparação ou substituição preventiva obtemos o custo total da manutenção preventiva (cp).
- Com os dados dos custos de preventiva e custos de intervenção correctiva, estamos em condições de calcular o período óptimo de substituição preventiva do componente cabo.
- De notar que os custos com a mão-de-obra não estão incluídos porque se considera este valor um custo fixo e que, independentemente do volume de trabalho, não haverá lugar a custos adicionais com as horas realizadas pelos técnicos da manutenção.

- Nos cálculos, abaixo indicados, temos a função densidade probabilidade $f(t; \beta; \eta)$ e a função de fiabilidade $R(t)$ do componente. Para o cálculo da função de custo $c(t)$ vamos utilizar o software Mathcad 14 que depois de calcular a função densidade probabilidade $f(t; \beta; \eta)$ e a função fiabilidade $R(t)$, vai integrar na equação para o cálculo do valor do custo da intervenção preventiva.

- No gráfico obtido o ponto mínimo da curva dá-nos o valor do menor custo para a intervenção preventiva do componente. Através da curva da função densidade probabilidade dos parâmetros em jogo, podemos determinar a fiabilidade correspondente em percentagem.

5.3.2 – Cálculo do período óptimo de manutenção preventiva dos componentes

5.3.2.1 – Período óptimo de manutenção preventiva dos Cabos do Hold

β= 2,25 η =309,68 cf=5250 cp=1270 t=[1 , 1000] Mtons

$$f(t) := \frac{\beta}{\eta} \cdot \left(\frac{t}{\eta}\right)^{\beta-1} \cdot e^{-\left(\frac{t}{\eta}\right)^{\beta}} \qquad R(t) := \int_{t}^{10000} f(t)\, dt$$

$$c(t) := \frac{cf \cdot (1 - R(t)) + cp \cdot R(t)}{t \cdot R(t) + \int_{0}^{t} t \cdot f(t)\, dt}$$

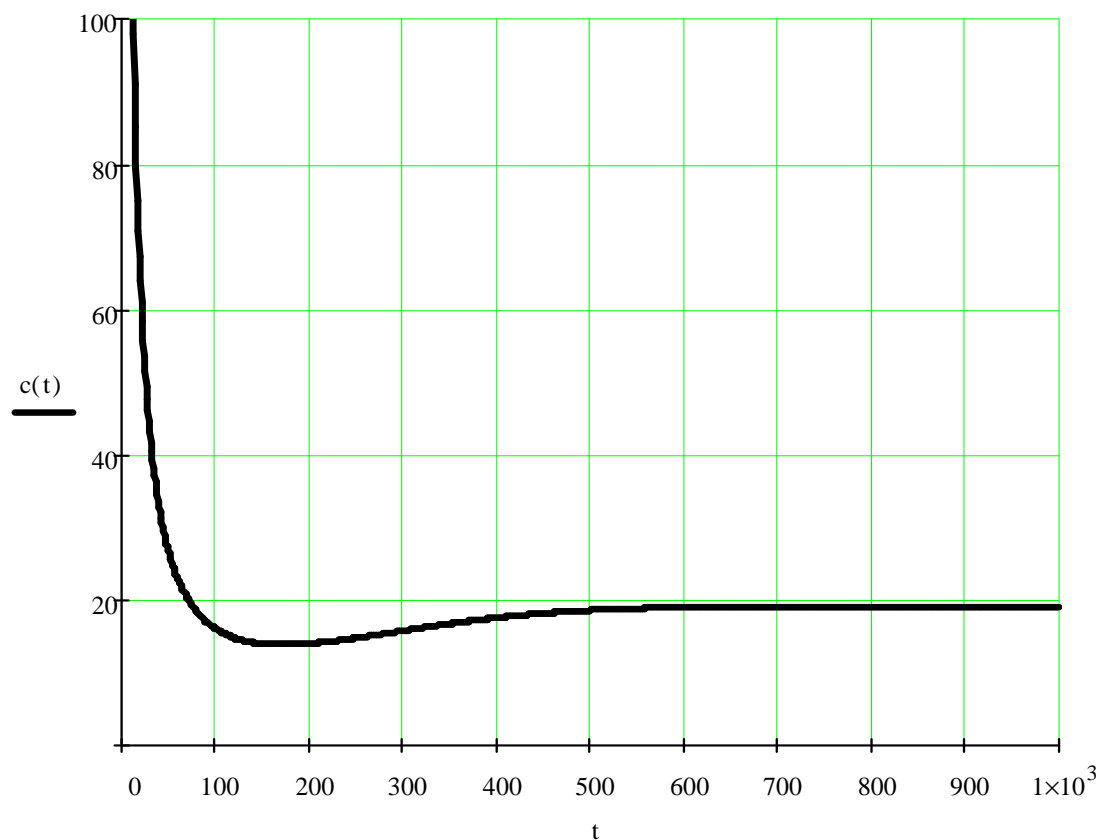



Fig - 5-20 Custos de manutenção preventiva dos cabos do Hold em função das Mtons

O menor custo obtido corresponde a uma duração de aproximadamente 180 Mil toneladas.

5.3.2.2 – Período óptimo de manutenção preventiva dos Cabos do Close

β= 1,65   η =532,28   cf=5250   cp=1270   t=[1 , 1000] Mtons

$$f(t) := \frac{\beta}{\eta}\cdot\left(\frac{t}{\eta}\right)^{\beta-1}\cdot e^{-\left(\frac{t}{\eta}\right)^{\beta}} \qquad R(t) := \int_{t}^{10000} f(t)\,dt$$

$$c(t) := \frac{cf\cdot(1-R(t)) + cp\cdot R(t)}{t\cdot R(t) + \int_{0}^{t} t\cdot f(t)\,dt}$$

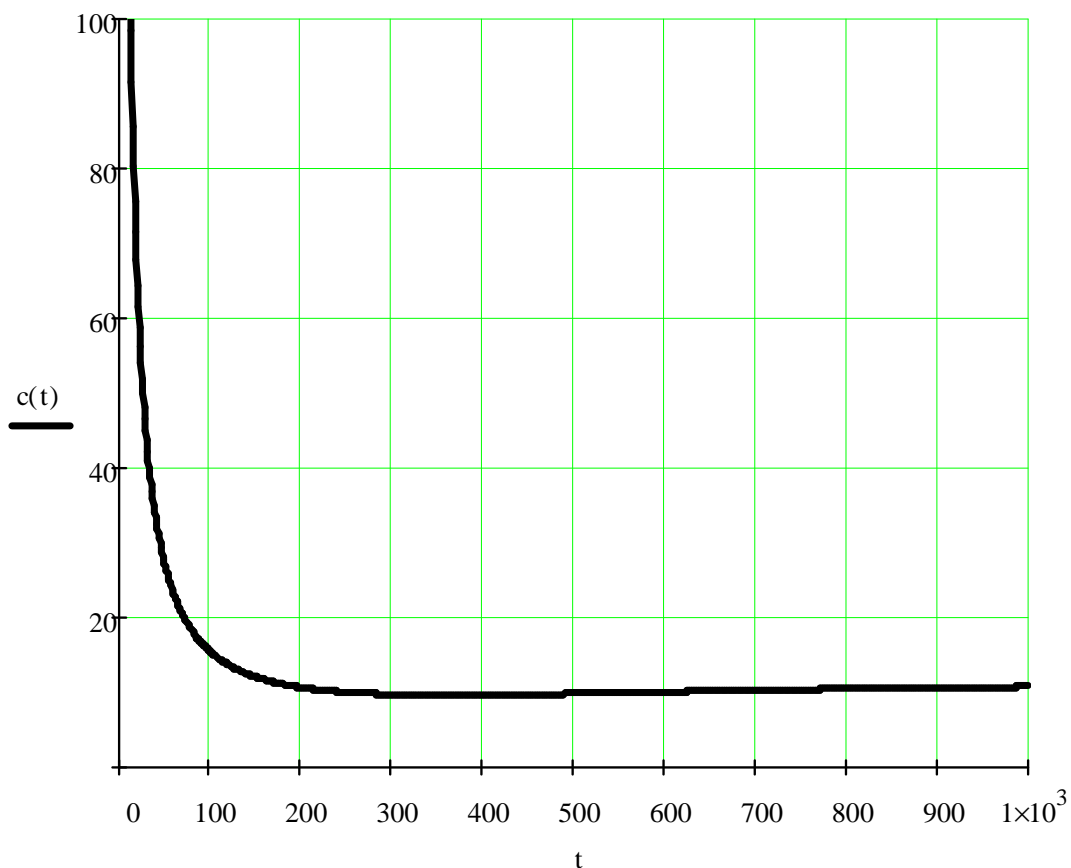



Fig - 5-21 Custos de manutenção preventiva dos cabos do Close em função das Mtons

O menor custo obtido corresponde a uma duração de aproximadamente 380 Mil toneladas.

5.3.2.3 – Período óptimo de manutenção preventiva dos Cabos do Trolley L.T.

β= 2,31 η =4460,49 cf=12500 cp=1370 t=[1 , 8000] Mtons

$$f(t) := \frac{\beta}{\eta}\cdot\left(\frac{t}{\eta}\right)^{\beta-1}\cdot e^{-\left(\frac{t}{\eta}\right)^{\beta}} \qquad R(t) := \int_{t}^{10000} f(t)\,dt$$

$$c(t) := \frac{cf\cdot(1-R(t)) + cp\cdot R(t)}{t\cdot R(t) + \int_{0}^{t} t\cdot f(t)\,dt}$$

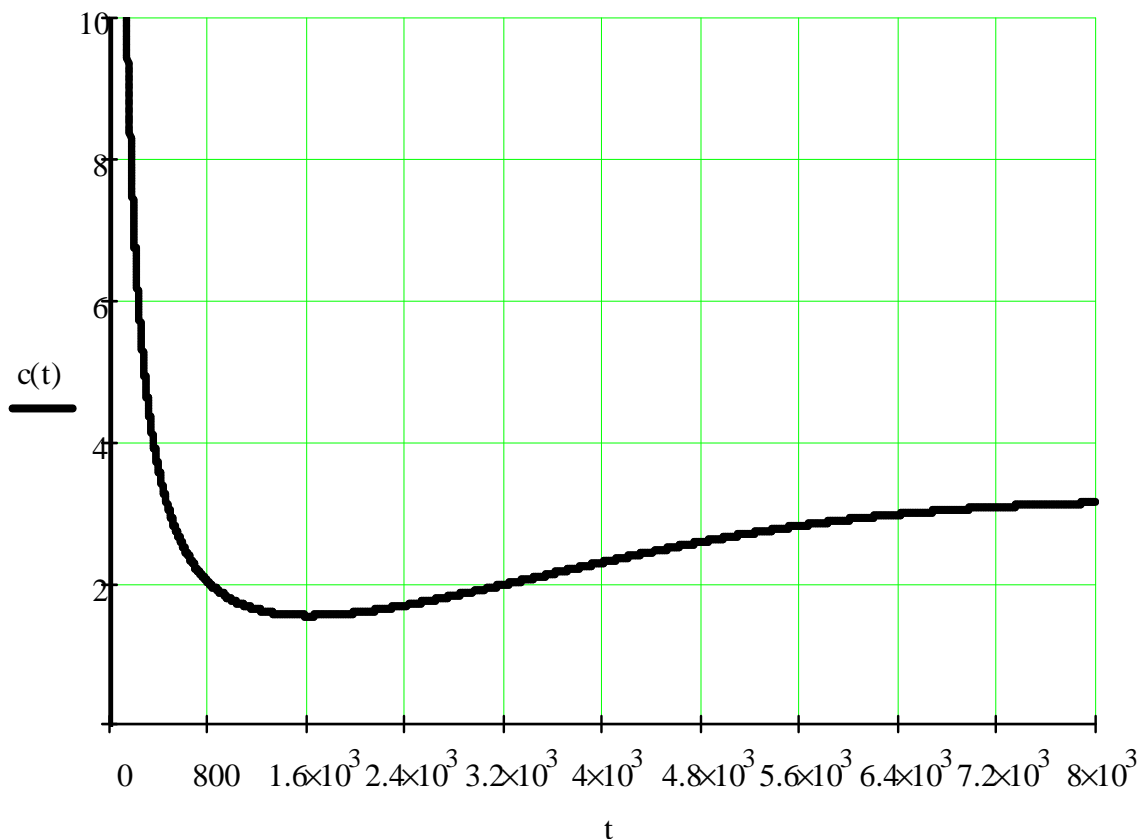



Fig - 5-22 Custos de manutenção preventiva dos cabos do trolley Lado de Terra em função das Mtons

O menor custo obtido corresponde a uma duração de aproximadamente 1.600 Mil toneladas.

5.3.2.4 – Período óptimo de manutenção preventiva dos Cabos do Trolley L.M.

β= 1,88 η =5624,23 cf=12500 cp=1470 t=[1 , 8000] Mtons

$$f(t) := \frac{\beta}{\eta}\cdot\left(\frac{t}{\eta}\right)^{\beta-1}\cdot e^{-\left(\frac{t}{\eta}\right)^{\beta}} \qquad R(t) := \int_{t}^{10000} f(t)\,dt$$

$$c(t) := \frac{cf\cdot(1-R(t)) + cp\cdot R(t)}{t\cdot R(t) + \int_{0}^{t} t\cdot f(t)\,dt}$$

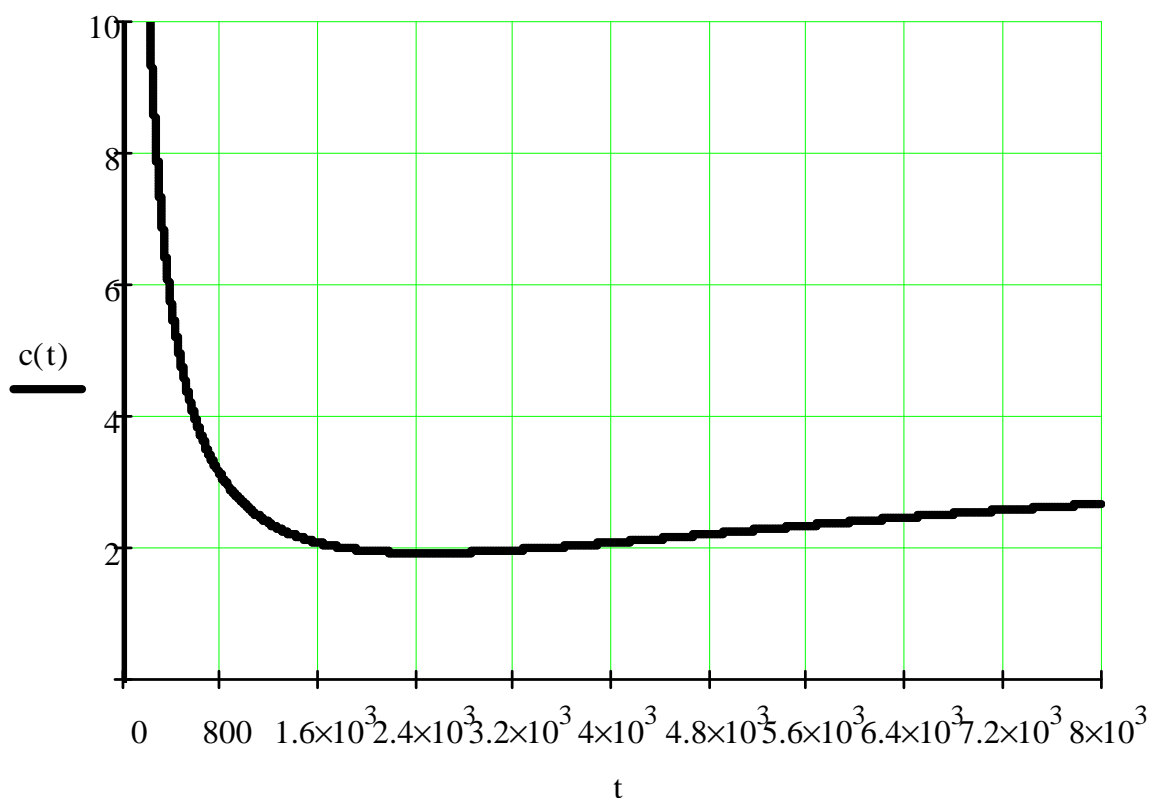



Fig - 5-23 Custos de manutenção preventiva dos cabos do trolley Lado do Mar em função das Mtons

O menor custo obtido corresponde a uma duração de aproximadamente 2.500 Mil toneladas.

5.3.2.5 – Período óptimo de manutenção preventiva dos Cabos em função dos custos operacionais

Os valores da duração de cada tipo de cabo foram obtidos anteriormente atribuindo um custo fixo à manutenção correctiva (cf) dos cabos, contudo este custo pode variar bastante uma vez que os fretes dos Navios têm uma variação bastante significativa devido às flutuações do mercado. Para complementar este estudo será interessante verificar o comportamento do período óptimo de manutenção preventiva dos Cabos em função dos custos operacionais para os diversos custos possíveis. Para tal, calcula-se atribuindo diferentes (cf), resultantes da variação do custo com o frete dos Navios, para se obter uma análise de sensibilidade da variação do período óptimo de manutenção preventiva.

Custo frete Navio €/dia	Custo Navio €/hora	Custo Navio €/hora efectivo	Custo da paragem por falha cabos Hold/close	Custo da paragem por falha cabos trolley	Manutenção preventiva Cabos hold (Mtons)	Manutenção preventiva Cabos Close (Mtons)	Manutenção preventiva Cabos Trolley LT (Mtons)	Manutenção preventiva Cabos Trolley LM (Mtons)
160.000	6.667	3.333	21.000	50.000	80	130	850	1.600
150.000	6.250	3.125	19.688	46.875	85	135	875	1.650
140.000	5.833	2.917	18.375	43.750	90	145	900	1.700
130.000	5.417	2.708	17.063	40.625	95	155	925	1.725
120.000	5.000	2.500	15.750	37.500	100	165	950	1.750
110.000	4.583	2.292	14.438	34.375	100	175	1.000	1.775
100.000	4.167	2.083	13.125	31.250	100	185	1.050	1.800
90.000	3.750	1.875	11.813	28.125	110	200	1.075	1.900
80.000	3.333	1.667	10.500	25.000	120	220	1.100	2.000
70.000	2.917	1.458	9.188	21.875	130	250	1.200	2.100
60.000	2.500	1.250	7.875	18.750	140	280	1.300	2.200
50.000	2.083	1.042	6.563	15.625	150	340	1.500	2.350
40.000	1.667	833	5.250	12.500	180	380	1.600	2.500
30.000	1.250	625	3.938	9.375	210	500	1.800	2.800
20.000	833	417	2.625	6.250	300	900	2.400	3.600
10.000	417	208	1.313	3.125	560	-	4.000	6.000
5.000	208	104	656	1.563	-	-	-	-

Tabela 5-4 – Quadro resumo do tempo óptimo de substituição dos diferentes tipos de cabos consoante o valor do frete dos Navios.

Na tabela 5-4 podemos observar os diferentes valores obtidos consoante o custo operacional. A linha a amarelo representa o valor médio do frete dos navios, que foram os valores calculados nas alíneas anteriores, pelo que estes serão os valores mais representativos da realidade que se deverão ter em linha de conta numa eventual tomada de decisão. De notar que quando os valores dos fretes são muito baixos, em alguns casos, será economicamente preferível deixar os cabos trabalharem até romperem. Obviamente que por razões práticas e de segurança operacional, esta solução não pode ser equacionada. No entanto, a partir dos dados obtidos na tabela (5-4), podemos fazer os gráficos (5-24 e 5-25) que nos permitem verificar rapidamente qual a duração que cada cabo deve ter consoante o custo do frete diário de um Navio. Assim, o decisor poderá considerar uma manutenção de oportunidade em linha de conta com o risco e custo associado.

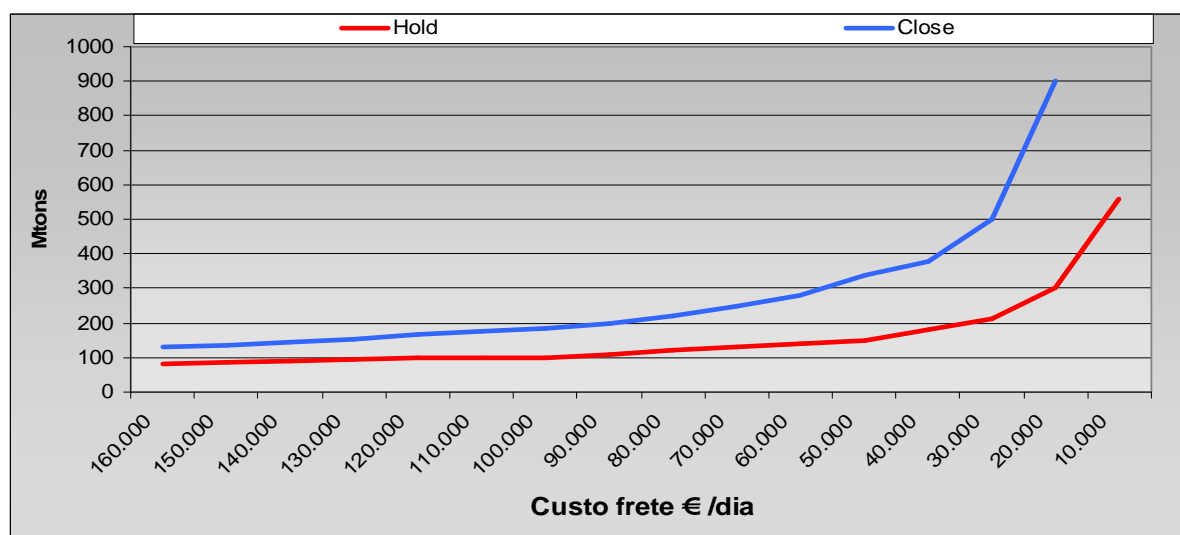



Fig - 5-24 Duração recomendada dos cabos do Hold e Close para o frete em vigor

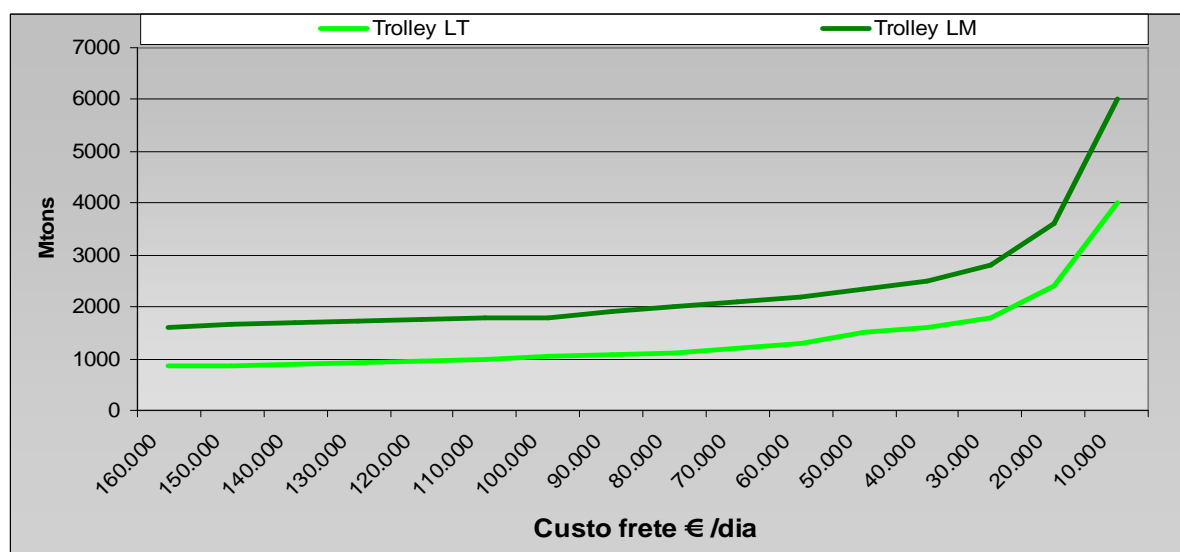



Fig - 5-25 Duração recomendada dos cabos do trolley Lado de Terra e lado do Mar para o frete em vigor

6. - Conclusões

6.1 – Conclusões em relação aos resultados obtidos

6.1.1 - Pressupostos iniciais

Podemos tirar algumas conclusões acerca dos pressupostos iniciais:

É muito importante estabelecer as condições em que os dados são obtidos e tentar manter um critério uniforme na obtenção dos registos para que os dados não sejam lançados em condições distintas que possam distorcer a realidade.

Os dados com que se trabalhou nos diversos estudos são absolutamente reais resultantes dos registos históricos das operações e manutenção da empresa. Muitas vezes somos surpreendidos com resultados que não são do nosso agrado, visto estarmos convencidos que os dados nos levam a um determinado valor, o que depois não se verifica.

A variação das características físicas das matérias-primas movimentadas acarreta diferenças no comportamento operacional e consequente desempenho ao nível da instalação. Por exemplo um carvão ligeiramente mais denso e húmido pode entupir facilmente as tremonhas de descarga paralisando a instalação.

Os materiais empregues na manutenção por vezes têm diferenças de desempenho ou de qualidade indetectáveis no acto da compra só depois de instalados é que será possível perceber que não preenchem devidamente todos os requisitos de qualidade exigidos ou poderão ter um desempenho superior ao normal.

Esta instalação de descarga de carvão trabalha apenas 30% do tempo total do ano, contudo pode trabalhar 24/24 h durante 361 dias por ano que é o período de disponibilidade absoluta para com os Navios. Trata-se por isso, de uma instalação muito exclusiva em termos de regime de funcionamento em que se tem uma operação de sazonalidade mensal, contínua com grandes períodos sem operações.

6.1.2 - Ferramentas da qualidade

É possível adaptar as ferramentas da qualidade a qualquer processo produtivo ou serviço de uma forma construtiva e de forma a obter resultados com significado, aplicabilidade e auxilio à tomada de decisões de gestão.

Conseguiu-se adaptar quase todas as ferramentas da qualidade, à excepção das cartas de controlo, por não termos um processo produtivo com parâmetros mensuráveis.

Foram construídos dois tipos de diagramas de Pareto, referentes aos anos de 2006, 2007 e 2008 , (tempo de falhas e número de falhas) que nos permitiu hierarquizar e tipificar as falhas, de uma forma esclarecedora, tanto em relação ao tempo como em relação à frequência das ocorrências. Os resultados, para além de indicarem, o comportamento geral da instalação, conseguiram tipificar e enquadrar os tipos de avarias mais frequentes e/ou mais demoradas para que se dê maior atenção ás avarias mais sistemáticas e frequentes. Mais importante de tudo, na construção de um diagrama de Pareto, será definir um critério linear consistente com o tipo de instalação. Por vezes somos tentados a agrupar tipos de avarias que por serem pouco frequentes ficarão juntas o que poderá dispersar os dados referentes a dois tipos de avarias que mais tarde poderão vir a ter relevância. A análise do histórico da instalação poderá auxiliar a identificar os incidentes relevantes para o levantamento.

Os diagramas de Pareto indicaram que as falhas operacionais, as avarias mecânicas e as falhas da instrumentação eléctrica dos dois Descarregadores são a principal causa dos mais elevados tempos de paragem.

Os resultados do diagrama de dispersão para a duração dos cabos com o ritmo da operação, não foi consistente com o que se esperava que seria uma correlação negativa, tendo se verificado que não havia qualquer aproximação. A qualidade e fiabilidade dos dados recolhidos são bastante completos e detalhados em termos dos valores das tonelagens, pelo que o que factor mais relevante terá sido o facto de existir no registo de uma grande variedade de fornecedores de cabos, alguns remontando a mais de uma década, pelo que os dados não foram muito conclusivos. Seria mais fiável se fosse sempre a mesma qualidade de cabo sujeita a diferentes ritmos de operação, o que certamente nos conduziria a resultados mais consistentes.

O Diagrama causa-efeito leva-nos de facto a ponderar todas as vias e possibilidades para determinar a causa do desgaste precoce dos cabos. Efectivamente após verificar o levantamento das causas pouco mais ficará por dizer em relação a todos os pontos de investigação das causas.

6.1.3 – Fiabilidade global dos equipamentos

Analisaram-se as avarias globais ocorridas nos anos de 2006, 2007 e 2008 para determinarmos a disponibilidade e a taxa de avarias.

O teste de hipóteses em 2006 e 2007 apontou para uma taxa de avarias estável, e em 2008 tivemos uma taxa de falhas decrescente, pelo que o processo tem vindo a reduzir a taxa de avarias. A taxa de avarias aponta para um valor normal (1 avaria a cada 27 horas) dadas as características muito particulares desta instalação. A variação dos dados é muito frequente, porque podemos ter operações de vários dias sem qualquer avaria, para mais tarde uma avaria grave poderá penalizar fortemente os indicadores de fiabilidade. Por este motivo não contabilizamos uma avaria numa caixa de um descarregador, porque este valor iria penalizar o resultado final induzindo num erro importante na disponibilidade.

Calculou-se ainda a fiabilidade no período entre 2006 e 2008 e verificou-se que esta apresenta taxas de falha estáveis obedecendo a um processo de Poisson Homogéneo e apresentando uma taxa de falhas superior a qualquer um dos 3 anos calculado individualmente.

Os dados obtidos estão resumidos no seguinte quadro:

Ano	Nº Av.	MTBF (h)	MTBF (min)	MTTR (min)	Disp.	T. Op (h)	T. Av (min)	T. acum (h)	Zo	%	λ (av/h)
2006	96	31:54	1892	65,1	0,967	3028	6250	151394	0,706	76,10	0,0317
2007	80	29:03	1742	90,3	0,950	2322	7220	97917	0,792	78,52	0,0345
2008	81	35:07	2142	68,2	0,969	1864	5525	62425	-2,700	99,65	0,0280
Entre 2006 e 2008	257	28:07	1684	74,56	0,958	7214	18995	954067	0,811	20,90	0,0356

Tabela 6-1 Resumo dos parâmetros de manutenção obtidos.

Concluímos que a taxa de avarias tem registado uma diminuição nos últimos 3 anos.Nos anos 2006 e 2007 tivemos taxas de falhas estáveis dentro de um processo de Poisson Homogéneo e que em 2008 tivemos taxas de falhas decrescentes o que indicia que estas avarias tiveram o comportamento de um processo de Poisson Não Homogéneo. Neste caso, para um PPNH, foi necessário recorrer ao modelo de Crow para determinar o MTBF e a taxa de avarias.

No cálculo global (entre 2006 e 2009) o processo apresentou-se estável com um comportamento de um PPH, mas com taxa de falha superior a qualquer um dos anos observados. Sem dúvida que, aumentar o tempo de observação, melhora a confiança nos resultados, pelo que será sempre preferível alargar o período de observação das falhas de um sistema.

6.1.4 - Cálculo do período óptimo de substituição preventiva dos cabos

Na modelação das durações dos cabos pela distribuição de Weibull, verificou-se que a adequação dos cabos do Hold e Close não condiz totalmente com os gráficos dos estimadores das funções de risco e de fiabilidade destes cabos. No entanto com os cabos do Trolley Lado de Terra e lado do Mar, verificou-se que o ajustamento era adequado, uma vez que todos os pontos se encontravam dentro das curvas das funções de risco e de fiabilidade destes cabos, no intervalo de confiança de 95%.

Na análise do período óptimo de manutenção preventiva dos cabos determinamos um valor a rondar os 5.250€ para os cabos de Φ42mm e 12.500€ para os cabos de Φ38mm, por cada intervenção imprevista durante a operação. Este valor varia muito consoante o custo do frete diário dos Navios que em 2008 conheceu a maior variação dos últimos 20 anos oscilando entre os 200.000 USD e os 5.000 USD resultando num valor médio de 80.000 USD no ano de 2008. Estes resultados acabam por nos traduzir o que a sensibilidade do que os técnicos fazem na realidade. Embora estes se baseiam na observação da condição dos cabos (contagem de arames partidos) entre cada operação para determinar a sua intervenção ou continuação em serviço, a verdade é que os cortes preventivos normalmente ficam pelos 3 Navios para os cabos do Hold (200.000 Tons) e intervalos de 4 Navios para os cabos do Close (300.000 Tons), podemos dizer que os valores da função de risco irão ao encontro do que é feito na realidade com uma tolerância de mais ou menos um Navio grande entre os cortes preventivos.

Nos cabos dos trolley (Lado de Terra e Lado do Mar) obtivemos respectivamente pontos óptimos 1.600 Mtons e 2.500 Mtons para o custo médio dos fretes dos Navios. Estes valores estão um pouco abaixo do que é realizado no terreno, uma vez que estes também são verificados pelos técnicos que aprovam ou não a sua continuidade, permitindo prolongar a sua vida útil reduzindo os custos com aquisições deste componente. Quer isto dizer que arriscando adiar a manutenção preventiva poderá trazer uma vantagem que se perde completamente assim que houver um a avaria em plena operação.

Também se poderia analisar caso a caso as particularidades que poderão surgir, como por exemplo, a limitação do caudal e consequente ritmo da operação ou um Navio de menor porte, que apenas terá uma carga de 30.000 tons para cada descarregador, o que pode alterar as condições e pressupostos em que se baseou o estudo.

Para uma melhor abordagem seria importante que se conseguisse uniformizar os fornecedores dos cabos. Contudo esta medida retirava as vantagens comerciais nas negociações destes materiais que são muito onerosos.

Também será muito significativo atender ao facto de os cabos raramente se partirem em, operação pelo que a maioria dos dados do histórico representam apenas a duração aparente que muitas vezes acaba por coincidir com os intervalos entre Navios que é o tempo disponibilizado para realizar esta operação sem encargos adicionais para o processo principal. Assim a real duração dos cabos de aço só se poderia obter deixando-os trabalhar até romper, o que não seria economicamente aceitável e a segurança dos operadores e técnicos poderia ficar seriamente comprometida.

6.2 - Recomendações

Nos estudos que se queiram realizar sobre a fiabilidade dos equipamentos e componentes, deverão ser acautelados os seguintes pontos:

- Procurar uniformizar o critério de classificação e tipologia das avarias para elaborar um diagrama de Pareto consistente que seja uma ferramenta extremamente útil.
- Criar uma base de dados das operações completa com diversos elementos sobre as questões operacionais, técnicas mas também ambientais e humanas, nomeadamente ao nível das condições climatéricas e identificar os operadores nos momentos das falhas.
- No rastreio dos componentes é bastante importante uniformizar os itens assim como os fornecedores, porque a dispersão por muitos fornecedores leva à diluição das responsabilidades e detecção de problemas de fiabilidade ou qualidade dos materiais que depois de instalados num equipamento ficam encobertos pelas redundâncias do sistema.

Referências Bibliográficas

Referências Bibliográficas

Dias, J. M. **(2007),** *Artigo técnico da revista Nº94 / 95 Manutenção de 2007 da autoria dos professores do Departamento de Engenharia Mecânica e Industrial da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa - José Mendonça Dias, José Gomes Requeijo, Rogério Puga Leal e Zulema Lopes Pereira.*

Cabral, J. P. S. **(2006)**, *Organização e gestão da manutenção – "Dos conceitos à prática"*, Lidel – Edições técnicas, lda.

Dias, J.M. **Requeijo,** J.G., **Leal, Rogério P. e Pereira**, Z.L. (2007), *Manutenção Preventiva de Componentes Com Função De Risco Crescente*, 8º CONGRESO IBEROAMERICANO DE INGENIERIA MECANICA, Cusco, 23 a 25 de Outubro de 2007, Peru.

Dias, J.M. (2002), *Fiabilidade em Redes de Distribuição de Energia Eléctrica*, Tese de Doutoramento, Universidade Nova de Lisboa, Faculdade de Ciências e Tecnologia, FCT, 2829-516 Caparica, Portugal.

Pereira, Z. L., e **Requeijo**, J. G. (2008), *Qualidade: Planeamento e Controlo Estatístico de Processos*, Fundação da Faculdade de Ciências e Tecnologia (FCT), Universidade Nova de Lisboa, Edições Prefácio.

Didelet F. e Canuto R. (2008), *A melhoria da fiabilidade operacional na optimização da manutenção* - 5º congresso luso-moçambicano de engenharia, maputo, 2 a 4 setembro 2008

Dias, J.A.M. e Pereira, Z.L. **(2005)**, *Fiabilidade e Gestão da Manutenção de Sistemas Reparáveis, em Análise e Gestão de Riscos*, *Segurança e Fiabilidade*, Volume II, C. Guedes Soares, A. P. Teixeira e P. Antão (Eds), Edições Salamandra

Ascher, H. and Feingold (1984), H., *Repairable System Reliability. Modelling, Inference, Misconceptions and their Causes*, Marcel Dekker.

Sites pesquisados:

http://pt.wikipedia.org/wiki/Portal:Engenharia

http://pt.wikipedia.org/wiki/Sete_ferramentas_da_qualidade

http://pt.wikipedia.org/wiki/Distribui%C3%A7%C3%A3o_de_Weibull

http://pt.wikipedia.org/wiki/Manuten%C3%A7%C3%A3o_preventiva#Manuten.C3.A7.C3.A3o_preventiva

http://pt.wikipedia.org/wiki/Engenharia_de_manuten%C3%A7%C3%A3o

Software utilizado;

- Folhas de cálculo e gráficos em Microsoft EXCEL XP para tratamento dos dados recolhidos.
- Documentos em Micosoft WORD XP na elaboração deste relatório.
- Micosoft Powerpoint XP na elaboração de fluxogramas e diagramas.
- Acrobate Reader e Acobate Cute na conversão dos ficheiros em Word para pdf.
- STATISTICA 7.0 para cálculo da distribuição de Weibull e densidade probalidade para a duração dos cabos.
- MATHCAD 14.0 no cálculo do tempo de vida versus custo de manutenção preventiva dos cabos.

ANEXO I – Mapa das Avarias para digrama Pareto entre os anos de 2006 a 2008

I.1 – Para o controlo das ocorrências e avarias operacionais, durante uma operação de descarga de carvão, foi criado um mapa que é preenchido a todo o instante com todos os dados relevantes da operação. Deste mapa são extraídos as avarias onde se indica qual a falha, equipamento, descrição e hora de início e fim da avaria e são lançados num mapa que permite verificar os parâmetros de manutenção.

Tabela I-1 - Mapa anual das avarias operacionais/manutenção em 2006

Operação Nº	Equip.	tipo	Tempos de paragem		Descrição do Componente	Nº avarias	Código de avaria
DO01	DS1	M		20	Trolley	1	DSM2
DO01	DS1	M		25	Conveyer Belt	1	DSM3
DO01	DS2	E		15	Bomba hidráulica	1	OP
DO01	TRP	M		25	Sr1 Trp lança	2	TRPM
DO01	TRP	M		15	Sr1 Trp lança	1	TRPM
DO01	TRP	M		15	Trp C2	1	TRPM
DO01	TRP	M		15	Trp C7	1	TRPM
DO01	TRP	M		15	Trp C6	1	TRPM
DO02	DS2	E		10	Autómato	1	OP
DO02	DS2	E		40	Autómato	2	OP
DO02	SR1	E		10	Variador Frequencia	1	OP
DO02	DS2	M		30	Trolley	1	OP
DO02	DS1	O	5		Hold	1	OP
DO02	DS2	O	45		Autómato	3	OP
DO02	TRP	M		15	Trp C9	1	TRPM
DO02	TRP	M		5	Trp C6	1	TRPM
DO02	TRP	O	10		Sr1 tapete lança	1	TRPM1
DO02	TRP	O	35		Sr1 tapete lança	1	TRPM1
DO03	DS1	E		15	Autómato	1	DSE2
DO03	DS2	E		15	Autómato	1	OP
DO03	TRP	M		25	Trp C6	1	TRPM
DO04	DS2	O		265	Cabos de elevação	1	OP
DO04	TRP	O	20		Trp C30	1	TRPM1
DO04	TRP	O	10		Trp C1	1	TRPM1
DO06	DS2	E		10	Protecções	1	OP
DO06	DS1	O	60		Close	6	OP
DO06	DS1	O	15		Autómato	1	OP
DO06	DS1	O	10		Autómato	1	OP

DO06	SR2	O	15		Seguranças	1	OP
DO06	DS1				Alimentação Eléctrica	1	OP
DO06	TRP	E		10	Trp C2	1	TRPE
DO06	TRP	O	10		Trp C1	1	TRPM1
DO06	TRP	O	5		Trp C5	1	TRPM1
DO07	DS1	E		35	Balança	1	DSE1
DO07	DS1	E		225	Gantry	1	DSE1
DO07	DS1	E		20	Autómato	1	DSE2
DO07	SR1	E		10	Variador	1	OP
DO07	DS1	O	50		Close	4	OP
DO07	DS1	O	10		Hold	1	OP
DO07	SR2	M		25	Sr2	1	SRM
DO07	SR2	M		15	Garras de carril	1	SRM
DO07	TRP	E		170	Trp C3	2	TRPE
DO07	TRP	E		55	Trp C2 cabeça móvel	3	TRPE
DO07	TRP	M		10	Trp C6	1	TRPM
DO08	DS1			290	Cabos	1	DSM2
DO08	DS1	O	25		Close	2	OP
DO08	DS1	O	45		Convoyer Belt	1	OP
DO08	DS1				Intempérie	1	OP
DO08	DS2				Cabo de Comunicação	1	OP
DO08	DS2				Intempérie	1	OP
DO08	SR2	E		10	Sensor proximidade	1	SRE
DO08	TRP	E		15	Trp C6	1	TRPE
DO08	TRP	M		10	Trp C5	1	TRPM
DO08	TRP	M	45		Trp C30	2	TRPM
DO08	TRP	M	25		Sr1	1	TRPM
DO08	TRP	O	15		Trp C30	1	TRPM1
DO09	DS1	M		395	Trolley	1	DSE1
DO09	DS1	O	10		Close	1	OP
DO09	DS1	O	45		Tremonha	1	OP
DO09	TRP	E		10	Trp C2	1	TRPE
DO09	TRP	E		15	Trp C6	1	TRPE
DO09	TRP	E		135	Trp C7	1	TRPE
DO10	DS1	E		30	Conveyor belt	1	DSE1
DO10	DS1	E		25	Cabine Operador	1	DSE1
DO10	DS1	E		25	Compensação	2	DSE2
DO10	DS1	E		20	Cabine	1	DSE2
DO10	DS1	O	115		Conveyor belt queda	1	OP
DO10	DS1	O	10		Hold	1	OP
DO10	VENTO				Intempérie	1	OP
DO11	DS1	E		25	Compensação	1	DSE1
DO11	DS1	E		10	Enrolador de Potência	1	DSE1
DO11	DS1	E		30	Conveyor belt	1	DSE1
DO11	SR1	E		10	Comando	1	OP
DO11	SR1	E		15	Translação	1	OP
DO11	DS1	O	10		Autómato	1	OP
DO11	DS1	O	10		Hold	1	OP
DO11	TRP	M		55	Tapete Lança	1	TRPM
DO12	DS1	E		15	Rail Clamps	1	DSE1
DO12	DS1	E		140	Compensação	13	DSE2

DO12	DS2	M		35	Trolley	1	OP
DO12	DS1	O	5		Autómato	1	OP
DO12	DS1	O	105		Transportador	1	OP
DO12	DS2	O	20		Tremonha	1	OP
DO12	TRP	O	25		Trp C30	2	TRPM1
DO13	DS2	E		65	Hold / Compensação	1	OP
DO13	SR1	E		10	Samistar	1	OP
DO13	TRP	M		45	Transportador Lança	2	TRPM
DO13	TRP	O	15		Sr1 / Trp lança	1	TRPM1
DO14	SR1	O	15		Transportador Lança	1	OP
DO14	SR2	E		10	Samistar	1	SRE
DO14	TRP	E		10	Trp C2 Cabeça móvel	1	TRPE
DO14	TRP	O	15		Trp C5	2	TRPM1
DO14	TRP	O	25		C30	1	TRPM1
DO15	DS1	E		5	Cabine	1	DSE1
DO15	DS1	E		25	Autómato	1	DSE1
DO15	DS1	E		10	Compensação	1	DSE1
DO15	DS1	E		15	Autómato	1	DSE2
DO15	DS2	E		15	Autómato	1	OP
DO15	DS2	E		20	Trolley	1	OP
DO15	DS1	O	10		Close	1	OP
DO15	TRP	M		5	Trp C7	1	TRPM
DO15	TRP	M		15	Sr1 Trp Lança	1	TRPM
DO16	DS1	E	10		Hold	1	DSE2
DO16	DS2	E	10		Autómato	1	OP
DO16	DS2	E	10		Autómáto - Troley	1	OP
DO16	DS2	E		40	Autómato	2	OP
DO16	DS2	M		5	Trolley	1	OP
DO16	TRP	M		10	Trp C30	1	TRPM
DO16	TRP	O		30	Trp C30	1	TRPM1
DO16	TRP	O		10	SR2 Trp Lança	1	TRPM1
DO16	TRP	O		15	Trp C6	1	TRPM1
DO17	DS1	E		20	Rail Clamps	1	DSE1
DO17	DS1	E		15	Compensaçao / Close	1	DSE1
DO17	SR1	E	5		Samistar	1	OP
DO17	DS2	M	10		Hold	1	OP
DO17	DS1	O	10		Hold	1	OP
DO17	DS1	O	5		Hold	1	OP
DO17	DS1	O	25		Close	1	OP
DO17	TRP	M		10	Trp C7	1	TRPM
DO17	TRP	M		55	Sr1 Trp elevador	2	TRPM
DO17	TRP	M	25		Convoyer	1	TRPM
DO17	TRP	O		20	Sr1 Trp elevador	2	TRPM1
DO17	TRP	O	0	15	Sr2 Trp lança	1	TRPM1
DO18	DS2	E		20	Autómato	3	OP
DO18	DS2	E		15	Autómato	1	OP
DO18	DS2	E	10		Separador Magnético	1	OP
DO18	DS2	E		10	Tolley	1	OP
DO18	SR1	E		10	Tanslação	1	OP
DO18	DS2	M		460	Cabo abertura/fecho	1	OP
DO18	TRP	O	10		Trp C6	1	TRPM1

DO19	DS1	E		15	Compensação	1	DSE1
DO19	DS1	E		10	Autómato	1	DSE2
DO19	DS1	O	75		Close	1	OP
DO19	DS2	O		15	Trolley	1	OP
DO19	SR2	E		30	Samistar	1	SRE
DO19	Subest	E			Subsestação / Sul	1	SUB
DO19	TRP	O	10		Trp SR2	1	TRPM1
DO19	TRP	O	25		Trp C2 C5	1	TRPM1
DO20	DS1	E		45	Compensação	4	DSE1
DO20	DS2	E		45	Autómato	2	OP
DO20	SUB/S	E	10		Subsestação / Sul	1	SUB
DO20	TRP	M		35	Sr1 Trp lança	1	TRPM
DO21	DS1	E		10	Compensação	1	DSE1
DO21	DS1	E		20	Trolley	2	DSE1
DO21	SR1	E		10	Trolley	1	OP
DO21	CP			15	Comboio	1	SUB
DO21	TRP	O	10		Trp C6	2	TRPM1
DO21	TRP	O	5		Trp C2/C4	1	TRPM1
DO21	TRP	O	30		Sr1 Trp elevador	1	TRPM1
DO22	DS1	E		45	Close Compensação	4	DSE2
DO22	DS2	E		35	Spill Plate / Transp.	1	OP
DO22	DS1	O		25	Trolley	1	OP
DO22	SUB/S	E		30	Disparo 30kV	1	SUB
DO22	TRP	M		35	SR1 Trp elevador	1	TRPM
DO22	TRP	O	30		Trp C30	1	TRPM1
DO22	TRP	O		10	Trp C1	1	TRPM1
DO22	TRP	O		15	Trp C2	1	TRPM1
DO23	DS1	E		10	Close / Compensação	1	DSE1
DO23	DS1	E	5		Close	1	DSE1
DO23	DS1	E		10	Compensação	1	DSE2
DO23	DS1	O	5		Hold	1	OP
DO23	SR2	O		5	Automático	1	OP
DO23	SR2	E		15	Protecções	1	SRE
DO23	SUB/N	E		35	Autómato	1	SUB
DO23	TRP	E		25	TRP C7	1	TRPE
DO23	TRP	O	15		Trp C6	1	TRPM1
DO23	TRP	O	25		Trp C30	1	TRPM1
DO23	TRP	O	10		DS2 Conveyor	1	TRPM1
DO24	DS1	E		35	Transportador	3	DSE1
DO24	DS1	E	10		Tensões auxiliares	1	DSE1
DO24	DS1	E		110	Trolley	1	DSE1
DO24	DS1	E		10	Compensação	1	DSE2
DO24	DS1	M		10	Trolley	1	DSM3
DO24	SR1	E		25	Variadores Frequência	1	OP
DO24	SR1	E		15	Comando	2	OP
DO24	DS1	O	10		Close	1	OP
DO24	DS1	O	10		Trolley	1	OP
DO24	DS2	O	10		Balde	1	OP
DO24	SR1	O	10		Variadores Frequência	1	OP
DO24	TRP	O	10		Trp SR1	1	TRPM1
DO24	TRP	O	15		Trp C6	1	TRPM1

DO25	DS1	O	10		Autómato	1	OP
DO25	DS1	O	25		Close	1	OP
DO25	SR1	O	10		Variadores Frequência	1	OP
DO25	TRP	E		10	Cabeça móvel C2/C3	1	TRPE
DO25	TRP	M		15	Trp lança	1	TRPM
DO25	TRP	O	5		Trp C1	1	TRPM1
DO25	TRP	O	10		DS1	1	TRPM1
DO25	TRP	O	5		Trp C2/C4	1	TRPM1
DO25	TRP	O	20		DS1 Trp lança	2	TRPM1
DO26	DS1	E		75	Defeito eléctrico	1	DSE1
DO26	DS1	Mec		15	Trolley	1	DSM3
DO26	SR2	E		15	Samistar	1	SRE
DO26	Trp	E		65	Defeito eléctrico	1	TRPE
DO26	Trp	O	10		C1	1	TRPM1
DO26	Trp	O	10		C5	1	TRPM1
DO26	Trp	O	10		C7	1	TRPM1
DO26	Trp	O			Lança SR1	1	TRPM1
DO27	DS2	E		15	Rail Clamp	1	OP
DO27	DS2	Mec		10	Cabos trolley	1	OP
DO27	DS1	O	15		Master	1	OP
DO27	SR2	E		10	Samistar	1	SRE
DO27	Trp	O	5		C6	1	TRPM1
DO27	Trp	O	10		C1	1	TRPM1
DO27	Trp	O	10		C7	1	TRPM1
DO27	Trp	O	15		C1	1	TRPM1
DO28	DS2	Mec		1250	Rope Trolley	1	OP
DO28	DS1	O	10		Master	1	OP
DO28	DS1	O	15		Master	1	OP
DO28	Trp	Mec		10	C3	1	TRPM
DO28	Trp	O	10		C6	1	TRPM1
DO28	Trp	O	30		C30	1	TRPM1
DO29	DS1	Mec		10	Trolley	1	DSM2
DO29	DS1	O	30		Close Overcurrent	2	OP
DO29	DS1	O	5		Hold Overcurrent	1	OP
DO30	DS1	E		315	Gantry	2	DSE1
DO30	DS1	Mec		10	Trolley	1	DSM2
DO30	DS1	O	10		Master	1	OP
DO30	Trp	Mec		15	Trp	1	TRPM
DO30	Trp	O	20		Trp C30	1	TRPM1
DO31	DS1	E		475	Trolley / Gantry	1	DSE1
DO31	DS2	O	35		Conveyor	1	OP
DO31	SR1	O	10	10	Samistar	1	OP
DO31	SUB/N	E		545	Autómato	1	SUB
DO31	TRP	M		135	Sr1 Trp lança	2	TRPM
DO31	TRP	O	20		Trp C30	1	TRPM1
DO32	DS2	E		40	Comando	1	OP
DO32	DS2	O	10		Autómato	1	OP
DO32	DS2	O	15		Automático	1	OP
DO32	DS2	O	10		Comando	1	OP
DO32	DS2	O	10		Comando	1	OP
DO32	SR1	O	10		Samistar	1	OP
DO32	SR1	O	20		Comando	2	OP

DO32	30 kV	O		195	30 kV	1	SUB
DO32	TRP	Mec		15	Trp C5	1	TRPM
DO32	TRP	O	5		Trp C5	1	TRPM1
DO32	TRP	O	25		Conveyor	1	TRPM1
DO32	TRP	O	10		Trp C6	1	TRPM1
DO33	DS1	E		55	Autómato	2	DSE2
DO33	DS1	M		5	Trolley	1	DSM2
DO33	DS1	O	70		Balde	1	OP
DO33	TRP	O	20		Trp C7	1	TRPM1
DO34	DS1	M		515	Cabos	1	DSM2
DO34	DS1	O	55		Trp Conveyer	1	OP
DO34	DS2	O	25		Limites	1	OP
DO34	30kV	O			30 kV	1	SUB
DO34	TRP	M		30	SR2 Trp Lança	1	TRPM
DO34	TRP	O	20		Trp C7	1	TRPM1
DO34	TRP	O	40		Trp C30	1	TRPM1
DO34	TRP	O	35		Trp C30	1	TRPM1
DO35	TRP	O	60		Trp C30	5	TRPM1
DO35	TRP	O	30		Trp C30	1	TRPM1
DO36	SR2	10			SR2 Trp lança	1	OP
DO36	SR2	20			SR2 Trp lança	1	OP
DO36	SR2	20			SR2 Trp lança	1	OP
DO37	DS1	E	45		Translação	1	DSE1
DO37	DS2	E	65		Translação	1	OP
DO37	SR2	O	20		Sensores	1	OP
DO37	SR2	E		25	Comando automático	1	SRE
DO37	SR2	E		85	Samistar	1	SRE
DO37	TRP	O	25		Trp C7	1	TRPM1
DO37	TRP	O	325		Trp C8	1	TRPM1
DO38	TRP	O	75		Trp DS2 Lança	7	TRPM1
DO39	DS1	E		15	Comando	1	DSE1
DO39	DS1	M		25	Trolley	1	DSM2
DO39	DS1	O	10		Hold	1	OP
DO39	TRP	E		20	Trp C2 cabeça móvel	1	TRPE
DO39	TRP	M		60	SR2 Trp lança	1	TRPM
DO39	TRP	O	15		Trp C30	1	TRPM1
DO39	TRP	O	15		SR2 Trp elevador	1	TRPM1
DO40	DS1	E		55	Vibrador Tremonha	1	DSE1
DO40	DS1	E		35	Trnaportador	1	DSE1
DO40	SR1	O	35		Autómato	1	OP
DO40	TRP	E		15	Trp C1 cabeça móvel	1	TRPE
DO40	TRP	O	25		Trp C4	1	TRPM1
DO41	DS1	E		60	Trolley	1	DSE1
DO41	DS1	M		65	Trolley	1	DSM3
DO41	DS1	O	80		Transportador	1	OP
DO41	DS1	O	105		Tremonha	2	OP
DO41	DS1	O	10		Transportador	1	OP
DO41	SR2	E		15	Autómato	1	SRE
DO41	TRP	O	10		Trp C7/C7A	1	TRPM1
DO41	TRP	O	10		Trp C30	1	TRPM1
DO42	DS1	E		30	Belt conveyor	1	DSE1
DO42	DS1	O	45		Balde	1	OP
DO42	DS1	O	10		Autómato	1	OP

DO42	DS1	O	95		Belt Conveyor	1	OP
DO42	DS1	O	105		Cabos	1	OP
DO42	DS2	O	100		Cabos	1	OP
DO42	DS2	O	105		Belt Conveyor	2	OP
DO42	TRP	M		5	Trp C4	1	TRPM
DO42	TRP	O	45		Trp C30	2	TRPM1
DO43	DS1	E		15	Enrolador de 6 kV	1	DSE1
DO43	DS2	E		60	Conveyor	1	OP
DO43	DS1	O	15		Trp C30	1	OP
DO43	DS1	O	25		Autómato	2	OP
DO43	SUB/N	E		110	Autómato	1	SUB
DO43	SUB/S	E		10	Quadro Auxiliares	1	SUB
DO43	TRP	E		10	Trp C3	1	TRPE
DO44	DS1	O	15		Conveyor Belt	1	OP
DO44	DS2	O	20		Autómato	1	OP
DO44	DS2	O	175		Conveyor Belt	3	OP
DO44	SR1	O	10		Rotação	1	OP
DO45	DS2	E		20	Cabine Operador	1	OP
DO45	SR1	E		20	Translacção	2	OP
DO45	DS2	M		50	Locotractor	1	OP
DO45	DS1	O	25		Conveyor Belt	1	OP
DO45	SR1	O	10		Comando	1	OP
DO45	30kV	E		20	30 kV	1	SUB
DO46	DS1	E	10		Hold	1	DSE2
DO46	DS1	M		10	Cabine Operador	1	DSM3
DO46	DS1	O	15		Conveyor Belt	1	OP
DO46	DS2	O	20		Autómato	1	OP
DO46	DS2	O	25		Tremonha	1	OP
DO46	TRP	O	10		Queda C1/C3	1	TRPM1
			3935	8900		386	

Tabela I-2 - Mapa anual das avarias operacionais/manutenção em 2007

Operação Nº	Equip.	tipo	Tempos de paragem		Descrição do Componente	Nº avarias	Código de avaria
DO01	DS1	O	15		Autómato	1	DSE2
DO01	DS2	O	15		Close Overcurrente	1	OP1
DO01	TRP	E		10	Trp C7A	1	TRPE
DO02	DS1	E		335	Manípulo	1	DSE1
DO02	DS1	O	45		Balde	1	DSM1
DO03	DS2	E		260	Auómato	1	DSE2
DO03	DS1	O	10		Hold	1	OP1
DO03	DS2	E	30		Trolley	2	OP1
DO03	TRP	M		10	Trp C7	1	TRPM
DO04	DS1	E		2310	Hold	1	DSE1
DO04	DS2	E		45	Hold	1	DSE1
DO04	DS2	O	15		Autómato	1	DSE2
DO04	DS2	O		10	Balde	1	DSM1
DO04	DS2	O		45	Balde	1	DSM1
DO04	DS1	M		20	Cabine Operador	1	DSM3
DO04	DS2	O	15		Close	1	OP1
DO04	TRP	M		10	Trp C9	1	TRPM
DO05	DS1	M		30	Cabos	1	DSM2
DO05	DS1	O	15		Hold	1	OP1
DO05	DS1	O	45		Tremonha	1	OP1
DO05	DS1	O	20		Belt conveiyor	1	OP1
DO05	DS2	O	85		Belt conveiyor	1	OP1
DO05	SR1	O	10		Rotação	1	OP2
DO05	TRP	O	25		SR1 Trp elevador	1	OP2
DO05	TRP	E		15	Trp C3	1	TRPE
DO06	DS1	O	20		Autómato	1	DSE2
DO06	DS2	O	40		Autómato	1	DSE2
DO06	DS1	O	10		Conveyor	1	OP1
DO06	DS1	O	10		Hold	1	OP1
DO06	DS1	O	10		Close	1	OP1
DO06	TRP	M		110	Queda TS4 Trp C6/C9	11	TRPM
DO07	DS2	O	60		Spill Plate	1	OP1
DO07	TRP	O	40		SR1/ TrpC5	2	OP2
DO07	TRP	E		55	Trp C30	3	TRPE
DO07	Subst.	E		20	Transf. 30 kV	1	OP3
DO08	DS1	E		45	Cabine do operador	1	DSE1
DO08	DS1	O	85		Balde	1	DSM1
DO08	SR2	E		15	Samistar	1	SER
DO09	DS2	E		10	Tremonha	1	DSE1
DO09	TRP	O	20		Trp C1	2	OP2
DO09	TRP	O	5		Sr2 Trp Lança	1	OP2
DO09	TRP	E		15	Trp C8	1	TRPE
DO10	DS1	E		10	Gantry	1	DSE1
DO10	DS2	E		65	Gantry	2	DSE1
DO10	DS1	M		10	Cabos	1	DSM2
DO10	SR1	O	10		Lança	1	OP2
DO10	SR2	O	5		SR2 queda	1	OP2
DO10	TRP	O	10		Trp C30	1	OP2
DO10	TRP	E	10		C30	1	TRPE

DO10	SR2	E		5	Sr2 Lança	1	SER
DO10	Subest	E	50		Sub. Norte Cela 1	3	OP3
DO11	DS2	O	10		Belt conveyor	1	OP1
DO11	DS2	O	20		Belt conveyor fusíveis	1	OP1
DO11	TRP	O	10		SR1 Trp lança	1	OP2
DO12	DS1	E		25	Spil plate	1	DSE1
DO12	DS1	E		10	Hold	1	DSE2
DO12	DS1	O	10		Autómato	1	DSE2
DO12	DS2	E		85	Autómato	1	DSE2
DO12	DS1	M		25	Trolley	1	DSM2
DO12	DS1	O		10	Cabos	1	DSM2
DO12	DS2	O		10	Cabos	1	DSM2
DO12	DS2	O	15		Conveyor	1	OP1
DO12	TRP	O	5		Trp C9	1	OP2
DO12	TRP	O	10		Sr2 Trp ança	1	OP2
DO12	Sub/Nort	E	25		6kV Cela 1 Subst.Norte	2	OP3
DO13	DS1	E		25	Gantry	1	DSE1
DO14	DS1	E		80	Tolley	1	DSE1
DO14	DS2	M		95	Trolley	1	DSM3
DO14	DS1	O	10		Hold	1	OP1
DO14	TRP	E		30	Trp C7	3	TRPE
DO14	SR1	E		10	Samistar	1	SER
DO14	SR2	E		15	Queda divisória	1	SER
DO15	DS1	M		135	Cabos hold	1	DSM2
DO15	SR2	O	50		Trp lança escorreg.	1	OP2
DO15	SR2	M		40	Trp lança	2	SRM
DO16	DS2	E		20	Belt conveyor	1	DSE1
DO16	DS1	M		170	Close	1	DSM2
DO16	DS1	O	10		Hold	1	OP1
DO16	SR2	E		10	Samistar	1	SER
DO17	DS2	E		110	Spill Plate	1	DSE1
DO17	DS2	E		30	Spill Plate	1	DSE1
DO17	DS2	E		20	Transportador DS2	1	DSE1
DO17	DS2	Mec		50	Balde nº. 1	1	DSM1
DO17	DS2	Mec		370	Cabos do Hold	1	DSM2
DO17	DS2	Mec		15	Cabina do operador	1	DSM3
DO17	DS2	O	20		Spill Plate	1	OP1
DO17	Trp	O	20		Transportador C30	1	OP2
DO17	Trp	O	20		Transportador DS2	1	OP2
DO18	DS2	E		620	Motor Hold	1	DSE1
DO18	DS1	O	55		Master	1	DSE2
DO18	DS1	Mec		40	Braço do balde	1	DSM1
DO18	DS2	Mec		55	Cabos Trolley	1	DSM2
DO19	DS1	O	20		Master	1	DSE2
DO19	DS1	Mec		25	Tremonha	1	DSM3
DO19	DS1	Mec		10	Transportador do DS1	1	DSM3
DO19	DS2	O	45		Transportador do DS1	1	OP1
DO20	DS1	E		10	Trolley Main Suply	1	DSE1
DO20	DS2	E		35	Trolley	1	DSE1
DO20	DS2	E		65	Tremonha/Conveyor	2	DSE1
DO20	DS2	E		10	Conveyor Stopped	1	DSE1
DO20	DS2	E		20	Equipamento eléctrico	1	DSE1
DO20	DS2	E		10	Separador magnético	1	DSE1

DO20	DS2	O	25		Autómato	1	DSE2
DO20	DS1	O	10		Conveyor	1	OP1
DO20	TRP	E		20	Trp C1 cabeça móvel	1	TRPE
DO20	TRP	E		15	Trp C2 cabeça móvel	1	TRPE
DO20	SR2	E		15	Sensor 1	1	SER
DO21	DS2	E		30	Cabos	1	DSM2
DO21	DS1	O	10		Conveyor	1	OP1
DO21	SR2	E		60	Samistar T/R	2	SER
DO22	DS1	E		40	Close	1	DSE1
DO22	DS2	E		10	Temonha	2	DSE1
DO22	DS2	O	30		Tansportador	1	OP1
DO23	DS1	E		95	Tanslacção	1	DSE1
DO23	DS1	O	30		Autómato	1	DSE2
DO23	TRP	E		60	Trp C7A	4	TRPE
DO24	DS2	E		60	Tremonha	2	DSE1
DO24	DS1	O	360		Tansportador	1	OP1
DO25	DS1	M		210	Trp DS1	1	DSM3
DO25	SR2	O	5		SR2	1	OP2
DO25	SR2	O	65		Detector de Pilha	2	OP2
DO25	SR2	O	15		Trp lança	1	OP2
DO26	DS2	O	25		Autómato Hold	1	DSE2
DO26	DS1	O	55		Spill plate	1	OP1
DO26	SR2	E		80	SR2	1	SER
DO26	SR2	E		40	Cabine do operador	1	SER
DO27	DS2	E		20	Cabine do operador	1	DSE1
DO27	DS1			35	Tremonha	1	DSM3
DO27	DS1	M		4680	Caixa redutora Close	1	DSM3
DO27	TRP	O	10		Trp C7A	1	OP2
DO27	SR1	M		20	Lança	1	TRPM
DO27	30 kV	E		20	EDP	1	OP3
DO28	DS1	M		6480	DS2	1	DSM3
DO28	DS2	O	250		DS2	1	OP1
DO28	TRP	M		15	Trp C6	1	TRPM
DO28	TRP	M		15	Trp C9	1	TRPM
DO28	SR2	M		5	Lança	1	SRM
DO28	SR1	E		10	Samistar	1	SER
DO29	DS1	M		2010	DS2	1	DSM3
DO29	TRP	O	10		Trp C9	1	OP2
DO29	TRP	M		15	Trp C9	1	TRPM
DO30	SR1	E		20	Motores rotação	1	SER
DO31	DS1	Mec		25	Cabos do Hold	1	DSM2
DO31	DS2	Mec		10	Cabos do Trolley	1	DSM2
DO31	Trp	Mec		10	C30	1	TRPM
DO31	Trp	Mec		10	C7	1	TRPM
DO32	DS1	O	15		Master	1	DSE2
DO32	DS1	Mec		10	Tremonha	1	DSM3
DO32	DS1	O	40		Balde	1	OP1
DO32	Trp	O	15		C1	1	OP2
DO33	Trp	E		30	Transferência C1 / C4	1	TRPE
DO33	Subest	O		30	30 kV	1	OP3
DO35	DS1	O	10		Hold	1	OP1
DO35	Trp	O	30		Transportador Lança SR2	1	OP2

DO35	SR2	E		25	Fusíveis	1	SER
DO35	Subst	O	10		6 kV	1	OP3
DO36	TRP	O	45		Transportador Lança SR2	1	OP2
DO36	SR2	E		40	Automático	1	SER
DO37	DS1	Mec		85	Braço do Balde	1	DSM1
DO37	DS1	Mec		325	Cabos de Elevação	1	DSM2
DO37	Trp	O	20		Transportador C4	1	OP2
DO37	Trp	O	120		Transportador DS1	1	OP2
DO37	SR1	E		30	Queda SR1	1	SER
DO38	DS2	O	15		Master	1	DSE2
DO38	DS2	O	10		Hold	1	DSE2
DO38	DS1	O	45		Tremonha	1	OP1
DO38	SR1	O	60		Tremonha	1	OP2
DO38	TRP	Mec		20	Transportador C4	1	TRPM
DO38	SR1	Mec		60	Queda Divisória	1	SER
DO39	DS1	E		10	Vobrador da Tremonha	1	DSE1
DO39	DS2	O	15		Master	1	DSE2
DO39	DS1	Mec		15	Balde	1	DSM1
DO39	DS2	Mec		10	Balde	1	DSM1
DO39	DS2	Mec		220	Cabos de A/F	1	DSM2
DO39	SR2	E		5	Electrica	1	SER

Tabela I-3 - Mapa anual das avarias operacionais/manutenção em 2008

Operação Nº	Equip.	Descrição do Componente	tipo	Tempos de paragem		Nº avarias	Código de avaria
DO01	DS1	Radio fixo	E		10	1	DSE1
DO01	DS1	Vibradores	E		20	1	DSE1
DO01	DS1	Vibradores	E		165	2	DSE1
DO01	DS2	Close	O	10		1	DSE1
DO01	DS2	Convertor	O	10		1	DSE2
DO01	DS2	Master	O	15		1	DSE2
DO01	DS2	Trolley	O	85		1	DSE2
DO01	DS1	Balde	O	30		1	OP1
DO01	DS2	Balde	O	440		1	OP1
DO01	Trp	Lança Sr1	O	15		1	OP2
DO01	Trp	Separador magnético	O	10		1	OP2
DO01	Trp	C4 + C30	O	165		1	OP2
DO01	Trp	C6	O	15		1	OP2
DO01	Trp	DS1	O	60		1	OP2
DO01	Trp	DS1	O	95		1	OP2
DO01	Trp	DS1 + Lança SR2 +	O	85		1	OP2
DO01	Trp	DS2	M		25	1	TRPM
DO02	DS2	Motor do Hold	E	430		1	DSE1
DO02	DS2	Trolley	M		25	1	DSM3
DO02	DS1	Balde	O	90		1	OP1
DO02	DS1	Master	O	15		1	OP1
DO02	DS1		O	500		1	OP1
DO02	SR2	Queda Divisória	O	35		1	OP2
DO02	Trp	Separador magnético	O	10		1	OP2
DO02	SR2	Lança	M		35	1	SRM
DO02	Trp	C30	E		155	1	TRPE
DO03	DS1	Cabos do trolley	M		515	1	DSM2
DO03	DS2	Cabos do Hold	M		305	1	DSM2
DO03	SR1	Elevação	E		40	3	SRE1
DO04	DS2	Lança	M		160	1	DSM3
DO05	DS2	Cabina do Operador	Mec		15	1	DSM3
DO05	DS1	Hold	O	5		1	OP1
DO05	SR1	Detector Pr	O	10		1	OP2
DO05	Trp	Elevação da SR1	O	65		1	OP2
DO05	Trp	Lança da SR1	O	25		1	OP2
DO05	Trp	Transportador C6	O	5		1	OP2
DO06	DS1	Hold	E	15		1	DSE1
DO06	DS2	Balde	Mec		30	1	DSM1
DO06	DS1	Tremonha	O	340		1	OP1
DO06	Trp	Transportador C1	O	5		1	OP2
DO06	Trp	Transportador C30	O	250		1	OP2
DO07	DS1	Master	O	15		1	DSE2
DO07	DS1	Balde	Mec		15	1	DSM1
DO07	DS2	Cabos A/F	Mec		205	1	DSM2
DO07	Trp	Elevação SR2	O	40		1	OP2
DO08	ECV	Loco nº.1	M		15	1	OP2
DO08	Trp	Transportador da Lança da SR2	O	35		1	OP2
DO08	DS2	PC-003	M		10	1	TRPM

DO09	DS1	Tremonha	E		5	1	DSM3
DO09	DS1	Hold	O	10		1	OP1
DO09	DS1	Tremonha	O	55		1	OP1
DO09	Trp	Motor nº.2 Transportador C6	E		45	1	TRPE
DO10	DS2	Gantry	O	55		1	OP1
DO10	Trp	Transportador C6	O	10		1	OP2
DO10	Subest.	PLC	E		20	1	TRPE
DO11	DS1	Trolley	O	15		1	OP1
DO11	Trp	C30	O	10		1	OP2
DO11	Trp	DS1	O	10		1	OP2
DO12	Trp	Elevação da Lança SR1	O	55		1	OP2
DO12	SR2	Alarme	E		25	1	SRE1
DO13	DS2	Sincronização	O	15		1	DSE2
DO13	DS1	Trolley	M		10	1	DSM3
DO13	DS1	Tremonha	O	145		1	OP1
DO13	PLC	SR1	E		20	1	SRE1
DO13	Trp	Balança do C4	E		35	1	TRPE
DO13	Trp	C2	E		45	1	TRPE
DO13	Trp	C4	E		150	8	TRPE
DO13	Trp	C8	E		35	3	TRPE
DO13	Trp	Tela do C7	M		50	1	TRPM
DO14	Trp	Transportador DS1	O	175		1	OP2
DO14	Trp	C4	M		10	1	TRPM
DO15	SR2	Lança da SR2	O	25		1	OP2
DO15	Subest	Enrada dos 30 kV	O	70		1	OP3
DO16	DS1	Balde Nº.1	M		60	1	DSM1
DO16	SR1	Máquina	O	45		1	OP2
DO16	SR1	Transpotador da Lança	O	50		1	OP2
DO17	Subest	30 kV	O	25		1	OP3
DO17	SR2	Transportador de Elevação	E		20	1	SRE1
DO18	SR1	Rotação da SR1	O	15		1	OP2
DO18	Trp	Transportador C8	O	5		1	OP2
DO18	SR1	Enrolador dos 6 kV	E		10	1	SRE1
DO19	Trp	C2	O	10		1	OP2
DO19	Trp	Transportador C8	E		75	1	TRPE
DO19	LT-001	ECV	E		10	1	TRPM
DO20	DS2	Sincronização	E		405	1	DSE1
DO20	DS1	Sincronização	O	45		1	DSE2
DO20	DS2	Balde nº1	O	30		1	DSM1
DO20	SR1	Rotação	O	15		1	OP2
DO21	DS1	Cabina do operador	E		95	1	DSE1
DO21	DS1	Enrolador Cabo Comando	E		15	1	DSE1
DO21	DS1	Hold	O	15		1	DSE2
DO21	DS2	Hold	O	15		1	DSE2
DO21	DS2	Master	O	15		1	DSE2
DO22	DS1	Hold	O	10		1	DSE2
DO22	Sr1	Lança	E		10	1	SRE1
DO24	DS2	Comando e controlo	E		25	1	DSE1
DO24	Trp	Transportador C2	E		15	1	TRPE
DO24	Trp	Transportador C6	E		10	1	TRPE
DO25	DS2	Settings	O	25		1	OP1
DO25	Trp	C4 / C7	O	45		1	OP2
DO25	Trp	Transportador C30	O	130		1	OP2

DO25	SR2	Translação da SR2	E		20	1	SRE1
DO25	SR2	Translação da SR2	E		5	1	SRE1
DO25	Trp	Transportador C2	Mec		20	1	TRPM
DO26	DS1	Balde	O	100		1	DSM1
DO26	Trp	Transportador C30	O	10		1	OP2
DO26	Trp	Transportador da DS2	O	150		1	OP2
DO27	Trp	Lança da SR2	E		10	1	TRPE
DO28	DS2	Cabina do operador	O	35		1	OP1
DO28	Trp	Transportador do DS2	O	40		1	OP2
DO29	DS1	Cabina do operador	E		10	1	DSE1
DO29	Trp	Lança da SR2	O	45		1	OP2
DO29	SR2	SR2	M		5	1	SRM
DO29	Trp	Cabeça Móvel do C2	M		15	1	TRPM
DO30	DS1	Comando e controlo	E		20	1	DSE2
DO30	DS2	Roldanas dos cabos	M		80	1	DSM3
DO30	DS1	Comando e controlo	O	15		1	OP1
DO30	TRP	Transportador C30	O	10		1	OP2
DO30	TRP	Transportador C9	O	15		1	OP2
DO30	SR1	Rotação	Mec		60	1	SRM
DO30	TRP	Transportador C9	E		60	1	TRPE
DO31	DS2	Enrolador de cabo de 6 kV	E		15	1	DSE1
DO31	TRP	Transportador C2	O	35		1	OP2
DO31	SUBEST	Quadro de Auxiliares	O	10		1	OP3
DO31	SR2	Comando	E		25	1	SRE1

ANEXO II – Manutenção preventiva de componentes

II.1 – Para o controlo das ocorrências e avarias operacionais, durante uma operação de descarga de carvão, foi criado um mapa que é preenchido a todo o instante com todos os dados relevantes da operação. Deste mapa são extraídos as avarias onde se indica qual a falha, equipamento, descrição e hora de início e fim da avaria e são lançados num mapa que permite verificar os parâmetros de manutenção. São os dados que nos permitem determinar a hora de cada ocorrência situando-a no tempo de funcionamento dos equipamentos.

As tabelas abaixo estão ordenadas para se poder extrair o somatório dos tempos acumulados entre avarias. A cor amarelo servem apenas para facilitar a leitura e separar as operações.
As operações que não tenham registado avarias ficam a fundo azul.

No fim de cada mapa anual, são apontados os valores do tempo acumulado e somatório dos tempos de paragem por falha.

Tabela II-1 – Mapa anual das avarias técnicas em operação no ano de 2006

Op. Nº	Equip	Dep / t		Componente	Av	Classif	Tempo (min) desde inicio da operação	Tempo anual acumulado
DO01	TRP	M	25	Sr1 Trp lança	2	TRPM	7:50:00	7:50:00
DO01	TRP	M	15	Sr1 Trp lança	1	TRPM	9:10:00	9:10:00
DO01	DS2	E	15	Bomba hidráulica	1	OP	70:50:00	70:50:00
DO01	TRP	M	15	Trp C7	1	TRPM	71:15:00	71:15:00
DO01	TRP	M	15	Trp C6	1	TRPM	72:40:00	72:40:00
DO01	DS1	M	20	Trolley	1	DSM2	79:50:00	79:50:00
DO01	TRP	M	15	Trp C2	1	TRPM	81:50:00	81:50:00
DO02	DS2	M	30	Trolley	1	OP	16:45:00	113:20:00
DO02	TRP	M	15	Trp C9	1	TRPM	21:00:00	117:35:00
DO02	TRP	M	5	Trp C6	1	TRPM	25:50:00	122:25:00
DO03	TRP	M	25	Trp C6	1	TRPM	0:00:00	161:45:00
DO03	DS2	E	15	Autómato	1	OP	30:05:00	191:50:00
DO03	DS1	E	15	Autómato	1	DSE2	41:05:00	202:50:00
DO04								
DO05								
DO06								
DO07	DS1	E	225	Gantry	1	DSE1	0:30:00	302:35:00
DO07	DS1	E	35	Balança	1	DSE1	1:15:00	303:20:00
DO07	DS1	E	20	Autómato	1	DSE2	10:00:00	312:05:00
DO07	TRP	E	55	Trp C2 cabeça móvel	3	TRPE	10:05:00	312:10:00
DO07	SR2	M	25	Sr2	1	SRM	12:00:00	314:05:00
DO07	SR1	E	10	Variador	1	OP	13:55:00	316:00:00
DO07	TRP	M	10	Trp C6	1	TRPM	19:25:00	321:30:00
DO07	SR2	M	15	Garras de carril	1	SRM	21:20:00	323:25:00
DO07	TRP	E	170	Trp C3	2	TRPE	28:00:00	330:05:00
DO08	DS1		290	Cabos	1	DSM2	0:00:00	411:40:00
DO08	TRP	M	10	Trp C5	1	TRPM	11:30:00	423:10:00
DO08	TRP	E	15	Trp C6	1	TRPE	14:05:00	425:45:00
DO08	SR2	E	10	Sensor proximidade	1	SRE	77:35:00	489:15:00
DO09	DS1	M	395	Trolley	1	DSE1	10:30:00	513:45:00
DO09	TRP	E	10	Trp C2	1	TRPE	43:05:00	546:20:00
DO09	TRP	E	135	Trp C7	1	TRPE	80:15:00	583:30:00
DO10					1	DSE1		
DO11	DS1	E	25	Compensação	1	DSE1	0:00:00	604:25:00
DO11	DS1	E	10	Enrolador de Potência	1	DSE1	8:25:00	632:55:00
DO11	SR1	E	10	Comando	1	OP	9:35:00	634:05:00
DO12	DS1	E	15	Rail Clamps	1	DSE1	14:30:00	720:35:00
DO13	DS2	E	65	Hold / Compensação	1	OP	27:40:00	802:05:00
DO13	SR1	E	10	Samistar	1	OP	43:05:00	817:30:00
DO14	TRP	E	10	Trp C2 Cabeça móvel	1	TRPE	7:25:00	830:20:00
DO15	DS1	E	5	Cabine	1	DSE1	15:10:00	909:45:00
DO15	DS1	E	25	Autómato	1	DSE1	27:45:00	922:20:00
DO15	TRP	M	5	Trp C7	1	TRPM	38:30:00	933:05:00
DO15	DS1	E	10	Compensação	1	DSE1	42:30:00	937:05:00
DO15	DS2	E	20	Trolley	1	OP	44:50:00	939:25:00
DO16	TRP	M	10	Trp C30	1	TRPM	23:40:00	980:55:00
DO16	DS2	M	5	Trolley	1	OP	30:00:00	987:15:00

DO16	TRP		40	Trp C-6	2	OP	31:40:00	988:55:00
DO17	DS1	E	20	Rail Clamps	1	DSE1	2:35:00	1025:30:00
DO17	TRP	M	10	Trp C7	1	TRPM	4:55:00	1027:50:00
DO17	SR1	E		Samistar	1	OP	10:20:00	1033:15:00
DO18	SR1	E	10	Tanslação	1	OP	23:25:00	1102:45:00
DO18	DS2	M	460	Cabo abertura/fecho	1	OP	38:55:00	1118:15:00
DO18	DS2	E		Separador Magnético	1	OP	54:10:00	1133:30:00
DO19					1	DSE1		
DO20					4	DSE1		
DO21	DS1	E	20	Trolley	2	DSE1	45:25:00	1342:15:00
DO22	DS2	E	35	Spill Plate / Transportador	1	OP	44:00:00	1397:45:00
DO23	TRP	E	25	TRP C7	1	TRPE	58:00:00	1488:35:00
DO24	DS1	E	35	Transportador	3	DSE1	0:00:00	1501:30:00
DO24	DS1	M	10	Trolley	1	DSM3	12:35:00	1514:05:00
DO24	DS1	E	110	Trolley	1	DSE1	21:35:00	1523:05:00
DO25	TRP	E	10	Cabeça móvel C2/C3	1	TRPE	2:05:00	1561:55:00
DO25	TRP	M	15	Trp lança	1	TRPM	28:10:00	1588:00:00
DO26	DS1	E	75	Defeito eléctrico	1	DSE1	14:25:00	1633:30:00
DO26	SR2	E	15	Samistar	1	SRE	5:05:00	1624:10:00
DO26	DS1	Mec	15	Trolley	1	DSM3	14:25:00	1633:30:00
DO26	Trp	E	65	Defeito eléctrico	1	TRPE	49:25:00	1668:30:00
DO27	DS2	Mec	10	Cabos trolley	1	OP	11:30:00	1688:45:00
DO27	DS2	E	15	Rail Clamp	1	OP	31:50:00	1709:05:00
DO28	DS2	Mec	1250	Rope Trolley	1	OP	24:15:00	1773:20:00
DO28	Trp	Mec	10	C3	1	TRPM	33:05:00	1782:10:00
DO29	DS1	Mec	10	Trolley	1	DSM2	46:20:00	1839:40:00
DO30	DS1	E	315	Gantry	2	DSE1	16:40:00	1879:45:00
DO31	DS1	E	475	Trolley / Gantry	1	DSE1	0:00:00	1896:35:00
DO32	TRP	Mec	15	Trp C5	1	TRPM	0:55:00	1942:25:00
DO32	DS2	E	40	Comando	1	OP	20:50:00	1962:20:00
DO33	DS1	E	55	Autómato	2	DSE2	7:00:00	2015:25:00
DO33	DS1	M	5	Trolley	1	DSM2	40:10:00	2048:35:00
DO34	TRP	M	30	SR2 Trp Lança	1	TRPM	17:25:00	2112:25:00
DO34	DS1	M	515	Cabos	1	DSM2	77:40:00	2172:40:00
DO35								
DO36	SR2	10			1	OP		
DO37	DS1	E		Translação	1	DSE1	43:55:00	2330:55:00
DO38								
DO39	DS1	M	25	Trolley	1	DSM2	19:35:00	2371:20:00
DO39	TRP	E	20	Trp C2 cabeça móvel	1	TRPE	32:05:00	2383:50:00
DO39	DS1	E	15	Comando	1	DSE1	47:30:00	2399:15:00
DO39	TRP	M	60	SR2 Trp lança	1	TRPM	79:20:00	2431:05:00
DO40	DS1	E	55	Vibrador Tremonha	1	DSE1	12:10:00	2454:35:00
DO40	DS1	E	35	Trnaportador	1	DSE1	21:55:00	2464:20:00
DO40	TRP	E	15	Trp C1 cabeça móvel	1	TRPE	55:40:00	2498:05:00
DO41	DS1	E	60	Trolley	1	DSE1	42:55:00	2553:40:00
DO41	DS1	M	65	Trolley	1	DSM3	89:50:00	2600:35:00
DO41	SR2	E	15	Autómato	1	SRE	101:30:00	2612:15:00
DO42	DS1	E	30	Belt conveyor	1	DSE1	0:00:00	2628:35:00
DO42	TRP	M	5	Trp C4	1	TRPM	87:25:00	2716:00:00
DO43	DS1	E	15	Enrolador de 6 kV	1	DSE1	24:30:00	2764:10:00
DO43	DS2	E	60	Conveyor	1	OP	25:40:00	2765:20:00
DO43	SUB/N	E	110	Autómato	1	SUB	53:35:00	2793:15:00

DO43	SUB/S	E	10	Quadro Auxiliares	1	SUB	58:25:00	2798:05:00
DO43	TRP	E	10	Trp C3	1	TRPE	92:45:00	2832:25:00
DO44								
DO45	DS2	E	20	Cabine Operador	1	OP	7:50:00	2892:25:00
DO45	SR1	E	20	Translacção	2	OP	27:50:00	2912:25:00
DO46	DS1	M	10	Cabine Operador	1	DSM3	2:30:00	2958:45:00

6250 min **151394 h**

Tabela II-2 – Mapa anual das avarias técnicas em operação no ano de 2007

Op Nº	Equip	Dep / t		Componente	Av	Classif	Tempo (min) desde inicio da operação	Tempo anual acumulado
DO01	TRP	E	10	Trp C7A	1	TRPE	29:40:00	29:40:00
DO02	DS1	E	335	Manípulo	1	DSE1	15:10:00	70:20:00
DO03	TRP	M	10	Trp C7	1	TRPM	60:50:00	146:35:00
DO03	DS2	E	260	Auómato	1	DSE2	63:40:00	149:25:00
DO04	TRP	M	10	Trp C9	1	TRPM	6:05:00	167:50:00
DO04	DS1	M	20	Cabine Operador	1	DSM3	9:45:00	171:30:00
DO04	DS2	E	45	Hold	1	DSE1	19:10:00	180:55:00
DO04	DS1	E	2310	Hold	1	DSE1	69:45:00	231:30:00
DO05	TRP	E	15	Trp C3	1	TRPE	7:30:00	274:20:00
DO05	DS1	M	30	Cabos	1	DSM2	42:35:00	309:25:00
DO06								
DO07	TRP	E	55	Trp C30	3	TRPE	7:15:00	401:00:00
DO08	DS1	E	45	Cabine do operador	1	DSE1	10:55:00	472:30:00
DO08	SR2	E	15	Samistar	1	SER	18:15:00	479:50:00
DO09	DS2	E	10	Tremonha	1	DSE1	11:15:00	537:05:00
DO09	TRP	E	15	Trp C8	1	TRPE	46:50:00	572:40:00
DO10	DS2	E	65	Gantry	2	DSE1	3:15:00	588:10:00
DO10	DS1	E	10	Gantry	1	DSE1	3:25:00	588:20:00
DO10	DS1	M	10	Cabos	1	DSM2	19:30:00	604:25:00
DO11								
DO12	DS2	E	85	Autómato	1	DSE2	3:15:00	719:55:00
DO12	DS1	E	10	Hold	1	DSE2	9:05:00	725:45:00
DO12	DS1	M	25	Trolley	1	DSM2	9:35:00	726:15:00
DO12	DS1	E	25	Spil plate	1	DSE1	32:45:00	749:25:00
DO12	Sub/Nort	E	25	6kV Cela 1 Subst.Norte	2	OP3	37:30:00	754:10:00
DO13	DS1	E	25	Gantry	1	DSE1	0:20:00	801:40:00
DO14	DS2	M	95	Trolley	1	DSM3	16:40:00	839:10:00
DO14	SR1	E	10	Samistar	1	SER	18:15:00	840:45:00
DO14	SR2	E	15	Queda divisória	1	SER	32:10:00	854:40:00
DO14	TRP	E	30	Trp C7	3	TRPE	34:10:00	856:40:00
DO14	DS1	E	80	Tolley	1	DSE1	55:25:00	877:55:00
DO15	SR2	M	40	Trp lança	2	SRM	4:40:00	888:30:00
DO15	DS1	M	135	Cabos hold	1	DSM2	28:00:00	911:50:00
DO16	DS2	E	20	Belt conveyor	1	DSE1	5:20:00	919:25:00
DO16	DS1	M	170	Close	1	DSM2	41:25:00	955:30:00
DO16	SR2	E	10	Samistar	1	SER	61:20:00	975:25:00

DO17	DS2	E	20	Transportador DS2	1	DSE1	25:55:00	1012:30:00
DO17	DS2	E	110	Spill Plate	1	DSE1	35:00:00	1021:35:00
DO17	DS2	Mec	370	Cabos do Hold	1	DSM2	42:45:00	1029:20:00
DO17	DS2	Mec	50	Balde nº. 1	1	DSM1	47:05:00	1033:40:00
DO17	DS2	Mec	15	Cabina do operador	1	DSM3	58:05:00	1044:40:00
DO18	DS1	Mec	40	Braço do balde	1	DSM1	6:35:00	1075:40:00
DO18	DS2	E	620	Motor Hold	1	DSE1	8:20:00	1077:25:00
DO18	DS2	Mec	55	Cabos Trolley	1	DSM2	14:25:00	1083:30:00
DO19	DS1	Mec	25	Tremonha	1	DSM3	20:50:00	1166:00:00
DO19	DS1	Mec	10	Transportador do DS1	1	DSM3	28:10:00	1173:20:00
DO20	DS2	E	35	Trolley	1	DSE1	19:50:00	1229:00:00
DO20	DS2	E	65	Tremonha/Conveyor	2	DSE1	78:35:00	1287:45:00
DO21	DS2	E	30	Cabos	1	DSM2	15:20:00	1300:20:00
DO21	SR2	E	60	Samistar T/R	2	SER	28:50:00	1313:50:00
DO22	DS1	E	40	Close	1	DSE1	16:00:00	1334:00:00
DO22	DS2	E	10	Temonha	2	DSE1	28:45:00	1346:45:00
DO23	TRP	E	60	Trp C7A	4	TRPE	8:30:00	1393:35:00
DO23	DS1	E	95	Tanslacção	1	DSE1	12:15:00	1397:20:00
DO24	DS2	E	60	Tremonha	2	DSE1	11:25:00	1446:40:00
DO25	DS1	M	210	Trp DS1	1	DSM3	2:00:00	1472:40:00
DO26	SR2	E	80	SR2	1	SER	0:00:00	1490:30:00
DO26	SR2	E	40	Cabine do operador	1	SER	0:00:00	1562:15:00
DO27	DS1	M	4680	Caixa redutora Close	1	DSM3	34:40:00	1596:55:00
DO27	DS2	E	20	Cabine do operador	1	DSE1	63:00:00	1625:15:00
DO27	DS1	E	35	Tremonha	1	DSM3	69:20:00	1631:35:00
DO28	DS1	M	6480	DS2	1	DSM3	0:00:00	1669:30:00
DO28	TRP	M	20	Trp C9	2	TRPM	76:05:00	1745:35:00
DO29	DS1	M	2010	DS2	1	DSM3	0:00:00	1784:50:00
DO29	TRP	M	15	Trp C9	1	TRPM	31:40:00	1816:30:00
DO30	SR1	E	20	Motores rotação	1	SER	19:05:00	1852:45:00
DO31	DS2	Mec	10	Cabos do Trolley	1	DSM2	5:40:00	1867:45:00
DO31	Trp	Mec	10	C7	1	TRPM	15:50:00	1877:55:00
DO31	DS1	Mec	25	Cabos do Hold	1	DSM2	18:50:00	1880:55:00
DO31	Trp	Mec	10	C30	1	TRPM	22:20:00	1884:25:00
DO32	DS1	Mec	10	Tremonha	1	DSM3	19:15:00	1910:50:00
DO33	Trp	E	30	Transferência C1 / C4	1	TRPE	6:15:00	1927:10:00
DO34								
DO35	SR2	E	25	Fusíveis	1	SER	28:40:00	2017:05:00
DO36	SR2	E	40	Automático	1	SER	50:30:00	2075:45:00
DO37	DS1	Mec	325	Cabos de Elevação	1	DSM2	0:00:00	2092:05:00
DO37	DS1	Mec	85	Braço do Balde	1	DSM1	26:30:00	2118:35:00
DO37	SR1	E	30	Queda SR1	1	SER	44:10:00	2136:15:00
DO38	SR1	Mec	60	Queda Divisória	1	SER	40:40:00	2196:30:00
DO38	TRP	Mec	20	Transportador C4	1	TRPM	50:00:00	2205:50:00
DO39	DS2	Mec	10	Balde	1	DSM1	0:00:00	2242:50:00
DO39	DS2	Mec	220	Cabos de A/F	1	DSM2	8:15:00	2251:05:00
DO39	DS1	Mec	15	Balde	1	DSM1	8:25:00	2251:15:00
DO39	DS1	E	10	Vibrador da Tremonha	1	DSE1	49:15:00	2292:05:00
DO39	SR2	E	5	Electrica	1	SER	58:05:00	2300:55:00

7220 min **97917 h**

Tabela II-3 – Mapa anual das avarias técnicas em operação no ano de 2008

Op Nº	Equip	Dep / t		Componente	Av	Classif	Tempo (min) desde inicio da operação	Tempo anual acumulado
DO01	DS2	E	85	Trolley	1		0:00:00	0:00:00
DO01	Trp	O	15	Lança Sr1	1		0:00:50	0:00:50
DO01	Trp	O	60	DS1	1		14:15:00	14:15:00
DO01	DS1	E	20	Vibradores	1		14:15:00	14:15:00
DO01	DS2	E	15	Master	2		15:40:00	15:40:00
DO01	DS2	E	10	Close	1		28:45:00	28:45:00
DO01	Trp	O	15	C6	1		30:35:00	30:35:00
DO01	Trp	E	10	Separador magnético	1		30:35:00	30:35:00
DO01	Trp	E	25	DS2	1		30:45:00	30:45:00
DO01	DS1	E	165	Vibradores	1		46:05:00	46:05:00
DO01	DS2	E	10	Convertor	1		50:55:00	50:55:00
DO02	Trp	O	165	C4 + C30	1		2:35:00	77:10:00
DO02	Trp	O	85	DS1 + Lança SR2 +	1		9:20:00	83:55:00
DO02	DS1	E	10	Radio fixo	1		9:35:00	84:10:00
DO02	DS2	O	440	Balde	1		12:00:00	86:35:00
DO02	DS1	O	30	Balde	1		12:30:00	87:05:00
DO02	DS1	M	500	Tremonhas TS2	1		12:55:00	87:30:00
DO02	DS2	M	25	Trolley	1		20:15:00	94:50:00
DO02	DS1	E	15	Master	1		21:50:00	96:25:00
DO02	SR2	M	35	Lança	1		28:05:00	102:40:00
DO02	Trp	E	155	C30	1		46:40:00	121:15:00
DO02	DS2	M	430	Motor do Hold	1		54:30:00	129:05:00
DO02	DS1	O	90	Balde	1		83:05:00	157:40:00
DO03	DS1	M	515	Cabos do trolley	1		7:35:00	209:55:00
DO03	DS2	M	305	Cabos do Hold	1		17:05:00	219:25:00
DO03	SR1	E	40	Elevação	2		31:50:00	234:10:00
DO04	DS2	M	160	Lança	3		0:00:00	273:10:00
DO05	DS2	Mec	15	Cabina do Operador	1		49:45:00	351:30:00
DO06	DS2	Mec	30	Balde	1		63:50:00	417:10:00
DO07	DS2	Mec	205	Cabos A/F	1		2:10:00	424:55:00
DO07	DS1	Mec	15	Balde	1		2:10:00	424:55:00
DO07	Trp	O	40	Elevação SR2	1		4:20:00	427:05:00
DO07	DS1	O	15	Master	2		11:30:00	434:15:00
DO08			10		1			
DO09	Trp	E	45	Motor nº.2 Transportador C6	1		12:35:00	524:25:00
DO09	DS1	E	5	Tremonha	1		17:05:00	528:55:00
DO10	Subest.	E	20	PLC	1		22:15:00	598:50:00

DO11	DS1	O	15	Trolley	1		11:00:00	657:25:00
DO12	SR2	E	25	Alarme	1		33:35:00	761:30:00
DO13	PLC	E	20	SR1	1		6:05:00	805:35:00
DO13	Trp	E	45	C2	1		14:05:00	813:35:00
DO13	Trp	E	150	C4	1		17:00:00	816:30:00
DO13	Trp	E	35	C8	1		35:10:00	834:40:00
DO13	DS2	O	15	Sincronização	1		48:25:00	847:55:00
DO13	DS1	M	10	Trolley	1		48:45:00	848:15:00
DO13	Trp	M	50	Tela do C7	1		56:45:00	856:15:00
DO14	Trp	M	10	C4	2		0:05:00	862:05:00
DO15	SR2	O	25	Lança da SR2	1		6:45:00	887:35:00
DO16	SR1	O	45	Máquina	1		0:05:00	943:30:00
DO16	DS1	M	60	Balde Nº.1	1		38:30:00	981:55:00
DO17	SR2		20	Transportador de Elevação	2		14:10:00	998:15:00
DO18	SR1	O	15	Rotação da SR1	1		12:00:00	1084:35:00
DO18	Trp	O	5	Transportador C8	3		12:45:00	1085:20:00
DO18	SR1	E	10	Enrolador dos 6 kV	1		40:20:00	1112:55:00
DO19	Trp	E	75	Transportador C8	1		0:05:00	1127:50:00
DO19	Trp	O	10	C2	1		15:15:00	1143:00:00
DO20	SR1	O	15	Rotação	1		15:15:00	1205:15:00
DO20	DS1	O	45	Sincronização	1		55:35:00	1245:35:00
DO20	DS2	O	30	Balde nº1	1		58:25:00	1248:25:00
DO20	DS2	E	405	Sincronização	1		59:35:00	1249:35:00
DO21	DS1	E	15	Enrolador Cabo Comando	4		0:00:00	1270:20:00
DO21	DS1	O	15	Hold	2		25:50:00	1296:10:00
DO21	DS2	O	15	Hold	1		26:40:00	1297:00:00
DO21	DS2	O	15	Master	1		32:15:00	1302:35:00
DO21	DS1	E	95	Caabina do operador	1		32:55:00	1303:15:00
DO22	DS1	O	10	Hold	2		14:50:00	1361:00:00
DO23	SR1		10	Lança	1		7:00:00	1388:15:00
DO24	DS2	E	25	Comando e controlo	1		0:00:00	1397:30:00
DO24	Trp	E	15	Transportador C2	1		27:10:00	1424:40:00
DO25	Trp	Mec	20	Transportador C2	3		12:45:00	1445:45:00
DO25	SR2	E	5	Translação da SR2	1		16:20:00	1449:20:00
DO25	SR2	E	20	Translação da SR2	1		29:45:00	1462:45:00
DO26								
DO27	Trp	E	10	Lança da SR2	1		3:25:00	1564:45:00
DO28								
DO29	SR2	M	5	SR2	1		12:35:00	1631:35:00
DO29	DS1	E	10	Cabina do operador	1		29:55:00	1648:55:00
DO29	Trp	M	15	Cabeça Móvel do C2	1		71:10:00	1690:10:00
DO30	SR1	Mec	60	Rotação	1		0:05:00	1699:05:00
DO30	DS1	E	20	Comando e controlo	1		9:25:00	1708:25:00

DO30	TRP	E	60	Transportador C9	1		24:00:00	1723:00:00
DO30	DS2	M	80	Roldana de cabos	1		58:00:00	1757:00:00
DO31	SR2	E	25	Comando	1		29:55:00	1809:40:00
DO31	DS2	E	15	Enrolador de cabo de 6 kV	1		58:00:00	1837:45:00

5525 min **62425 h**

Todas as avarias juntas entre 2006 e 2008:

∑ T(obser.) = 7.214 h ; ∑T(paragem) = 18.995 min ; ∑τi = 954.067h

ANEXO III

III.1 – Para podermos estudar o comportamento destes componentes, tivemos de fazer um levantamento dos registos do histórico, em base de dados, de todos os cortes e bobinagens de cabos que foram realizados desde que começou a actividade de descarga de carvão com os descarregadores portuários. Pretende-se com isto obter todas as intervenções resultantes do corte, manutenção ou substituição preventiva destes cabos que nos possam indicar qual a média da duração de um cabo até se verificar um desgaste que em inspecção visual indique que será necessário intervir. Os dados recolhidos estão indicados na unidade de Milhares de toneladas (Mtons), uma vez que nos registos de manutenção se utiliza este parâmetro que é mais conveniente e consistente com o tipo de trabalho deste equipamentos, permitindo uma monitorização por carga o que também se pode extrapolar para as horas dos equipamentos, embora, neste caso, o erro associado seja elevado devido ás variações dos ritmos operacionais.

As quatro tabelas com os valores da duração dos cabos (Hold, Close, Trolley Lado do Mar e Trolley Lado de Terra) referem-se sempre ao conjunto dos dois descarregadores idênticos, DS1 E DS2, em que os valores estão juntos de forma alternada, uma vez que estes trabalham exactamente e sempre nas mesmas condições. O que foi diferenciado é a posição, carga e tipo de operação a que cada cabo está sujeito, o que faz toda a diferença nesta análise.
Nas tabelas de dados abaixo podemos verificar os dados ordenados cronologicamente e alternados entre o DS1 E DS2 com a indicação dos dados sujeitos a censura. Primeiro os cabos do Hold (tabela 1) e depois uma tabela idêntica para os cabos do Close (Tabela 2). Por fim temos uma tabela comum para os cabos do trolley lado do Mar e Lado de Terra (tabela 3).

III.2 - CABOS HOLD DS1 E DS2 (Tabela III-1)

HOLD DS1 DS2	Tempo de Vida ou Ton. de vida TOTAL	CENSURA	HOLD DS1 DS2	Tempo de Vida ou Ton. de vida TOTAL	CENSURA	HOLD DS1 DS2	Tempo de Vida ou Ton. de vida TOTAL	CENSURA
Hold-001	429	1	Hold-046	227	1	Hold-091	376	1
Hold-002	93	0	Hold-047	202	1	Hold-092	305	1
Hold-003	509	1	Hold-048	195	1	Hold-093	274	1
Hold-004	315	1	Hold-049	123	1	Hold-094	56	0
Hold-005	86	0	Hold-050	196	1	Hold-095	92	0
Hold-006	414	1	Hold-051	109	1	Hold-096	75	0
Hold-007	254	1	Hold-052	104	1	Hold-097	609	1
Hold-008	216	1	Hold-053	328	1	Hold-098	161	1
Hold-009	382	1	Hold-054	368	1	Hold-099	255	1
Hold-010	365	1	Hold-055	157	1	Hold-100	238	1
Hold-011	241	1	Hold-056	381	1	Hold-101	174	1
Hold-012	549	1	Hold-057	135	1	Hold-102	86	0
Hold-013	400	1	Hold-058	187	1	Hold-103	315	1
Hold-014	415	1	Hold-059	258	1	Hold-104	180	1
Hold-015	638	1	Hold-060	184	1	Hold-105	217	1
Hold-016	391	1	Hold-061	240	1	Hold-106	163	1
Hold-017	553	1	Hold-062	517	1	Hold-107	66	0
Hold-018	505	1	Hold-063	147	1	Hold-108	159	1
Hold-019	345	1	Hold-064	75	0	Hold-109	70	1
Hold-020	463	1	Hold-065	424	1	Hold-110	198	1
Hold-021	181	1	Hold-066	150	1	Hold-111	189	1
Hold-022	463	1	Hold-067	200	1	Hold-112	136	1
Hold-023	475	1	Hold-068	208	1	Hold-113	255	1
Hold-024	164	1	Hold-069	202	1	Hold-114	677	1
Hold-025	544	1	Hold-070	309	1	Hold-115	62	0
Hold-026	496	1	Hold-071	112	1	Hold-116	182	1
Hold-027	85	0	Hold-072	192	1	Hold-117	126	1
Hold-028	600	1	Hold-073	216	1	Hold-118	269	1
Hold-029	348	1	Hold-074	362	1	Hold-119	98	0
Hold-030	461	1	Hold-075	448	1	Hold-120	299	1
Hold-031	826	1	Hold-076	237	1	Hold-121	196	1
Hold-032	435	1	Hold-077	128	1	Hold-122	364	1
Hold-033	494	1	Hold-078	225	1	Hold-123	144	1
Hold-034	246	1	Hold-079	193	1	Hold-124	139	1
Hold-035	523	1	Hold-080	182	1	Hold-125	197	1
Hold-036	202	1	Hold-081	187	1	Hold-126	414	1
Hold-037	189	1	Hold-082	498	1	Hold-127	142	1
Hold-038	359	1	Hold-083	256	1	Hold-128	34	0
Hold-039	317	1	Hold-084	448	1	Hold-129	668	1
Hold-040	271	1	Hold-085	328	1	Hold-130	136	1
Hold-041	328	1	Hold-086	474	1	Hold-131	178	1
Hold-042	402	1	Hold-087	266	1	Hold-132	280	1
Hold-043	220	1	Hold-088	412	1	Hold-133	206	1
Hold-044	301	1	Hold-089	200	1	Hold-134	160	1
Hold-045	574	1	Hold-090	385	1	Hold-135	299	1

HOLD DS1 DS2	Tempo de Vida ou Ton. de vida TOTAL	CENSURA	HOLD DS1 DS2	Tempo de Vida ou Ton. de vida TOTAL	CENSURA	HOLD DS1 DS2	Tempo de Vida ou Ton. de vida TOTAL	CENSURA
Hold-136	263	1	Hold-181	267	1	Hold-226	415	1
Hold-137	157	1	Hold-182	240	1	Hold-227	217	1
Hold-138	206	1	Hold-183	223	1	Hold-228	247	1
Hold-139	420	1	Hold-184	250	1	Hold-229	214	1
Hold-140	116	1	Hold-185	210	1	Hold-230	301	1
Hold-141	101	1	Hold-186	280	1	Hold-231	106	1
Hold-142	134	1	Hold-187	387	1	Hold-232	212	1
Hold-143	264	1	Hold-188	130	1	Hold-233	169	1
Hold-144	198	1	Hold-189	112	1	Hold-234	297	1
Hold-145	104	1	Hold-190	321	1	Hold-235	153	1
Hold-146	486	1	Hold-191	88	0	Hold-236	37	0
Hold-147	217	1	Hold-192	248	1	Hold-237	237	1
Hold-148	138	1	Hold-193	347	1	Hold-238	237	1
Hold-149	143	1	Hold-194	224	1	Hold-239	271	1
Hold-150	247	1	Hold-195	602	1	Hold-240	172	1
Hold-151	279	1	Hold-196	147	1	Hold-241	107	1
Hold-152	228	1	Hold-197	376	1	Hold-242	153	1
Hold-153	195	1	Hold-198	311	1	Hold-243	306	1
Hold-154	211	1	Hold-199	306	1	Hold-244	76	0
Hold-155	212	1	Hold-200	215	1	Hold-245	205	1
Hold-156	256	1	Hold-201	292	1	Hold-246	181	1
Hold-157	68	0	Hold-202	355	1	Hold-247	84	0
Hold-158	220	1	Hold-203	53	0	Hold-248	147	1
Hold-159	292	1	Hold-204	252	1	Hold-249	393	1
Hold-160	225	1	Hold-205	392	1	Hold-250	304	1
Hold-161	245	1	Hold-206	219	1	Hold-251	72	0
Hold-162	151	1	Hold-207	229	1	Hold-252	371	1
Hold-163	358	1	Hold-208	191	1	Hold-253	452	1
Hold-164	209	1	Hold-209	400	1	Hold-254	222	1
Hold-165	147	1	Hold-210	78	0	Hold-255	195	1
Hold-166	305	1	Hold-211	275	1	Hold-256	341	1
Hold-167	202	1	Hold-212	116	1	Hold-257	625	1
Hold-168	147	1	Hold-213	148	1	Hold-258	253	1
Hold-169	218	1	Hold-214	94	0	Hold-259	80	0
Hold-170	202	1	Hold-215	223	1	Hold-260	405	1
Hold-171	120	1	Hold-216	157	1	Hold-261	428	1
Hold-172	136	1	Hold-217	268	1	Hold-262	149	1
Hold-173	166	1	Hold-218	71	0	Hold-263	335	1
Hold-174	258	1	Hold-219	399	1	Hold-264	456	1
Hold-175	77	0	Hold-220	187	1	Hold-265	239	1
Hold-176	77	0	Hold-221	148	1	Hold-266	270	1
Hold-177	225	1	Hold-222	184	1	Hold-267	257	1
Hold-178	180	1	Hold-223	181	1	Hold-268	176	1
Hold-179	75	0	Hold-224	155	1	Hold-269	180	1
Hold-180	542	1	Hold-225	306	1	Hold-270	142	1

HOLD DS1 DS2	Tempo de Vida ou Ton. de vida TOTAL	CENSURA	HOLD DS1 DS2	Tempo de Vida ou Ton. de vida TOTAL	CENSURA	HOLD DS1 DS2	Tempo de Vida ou Ton. de vida TOTAL	CENSURA
Hold-271	169	1	Hold-291	323	1	Hold-311	264	1
Hold-272	77	0	Hold-292	253	1	Hold-312	119	1
Hold-273	102	1	Hold-293	185	1	Hold-313	188	1
Hold-274	299	1	Hold-294	381	1	Hold-314	180	1
Hold-275	226	1	Hold-295	209	1	Hold-315	228	1
Hold-276	229	1	Hold-296	267	1	Hold-316	234	1
Hold-277	158	1	Hold-297	669	1	Hold-317	149	1
Hold-278	160	1	Hold-298	328	1	Hold-318	156	1
Hold-279	155	1	Hold-299	118	1	Hold-319	101	1
Hold-280	143	1	Hold-300	260	1			
Hold-281	392	1	Hold-301	360	1			
Hold-282	266	1	Hold-302	270	1			
Hold-283	143	1	Hold-303	69	0			
Hold-284	66	0	Hold-304	74	0			
Hold-285	284	1	Hold-305	255	1			
Hold-286	300	1	Hold-306	82	0			
Hold-287	65	0	Hold-307	155	1			
Hold-288	448	1	Hold-308	245	1			
Hold-289	259	1	Hold-309	640	1			
Hold-290	231	1	Hold-310	195	1			

Utilizando os dados da tabela acima na aplicação STATISTICA 7 pela análise de processo Weibull determinamos os seguintes parâmetros e tabelas para os cabos do HOLD DS1 e DS2.

Parâmetro de forma $\beta = 2{,}15$
Parâmetro de escala $\eta = 310{,}5$

III.3 - CABOS CLOSE DS1 E DS2 (Tabela III-2):

CLOSE DS1 DS2

	Tempo de Vida ou Ton. de vida TOTAL	CENSURA
Close-001	729	1
Close-002	284	1
Close-003	423	1
Close-004	340	1
Close-005	524	1
Close-006	437	1
Close-007	54	0
Close-008	842	1
Close-009	386	1
Close-010	180	1
Close-011	108	1
Close-012	337	1
Close-013	574	1
Close-014	418	1
Close-015	479	1
Close-016	618	1
Close-017	819	1
Close-018	383	1
Close-019	434	1
Close-020	343	1
Close-021	308	1
Close-022	285	1
Close-023	247	1
Close-024	349	1
Close-025	814	1
Close-026	826	1
Close-027	536	1
Close-028	494	1
Close-029	265	1
Close-030	839	1
Close-031	600	1
Close-032	708	1
Close-033	30	0
Close-034	604	1
Close-035	930	1
Close-036	614	1
Close-037	495	1
Close-038	252	1
Close-039	410	1
Close-040	521	1
Close-041	185	1
Close-042	165	1
Close-043	341	1
Close-044	416	1
Close-045	69	0

CLOSE DS1 DS2

	Tempo de Vida ou Ton. de vida TOTAL	CENSURA
Close-046	745	1
Close-047	403	1
Close-048	485	1
Close-049	337	1
Close-050	608	1
Close-051	325	1
Close-052	528	1
Close-053	501	1
Close-054	59	0
Close-055	909	1
Close-056	544	1
Close-057	417	1
Close-058	221	1
Close-059	463	1
Close-060	1033	1
Close-061	339	1
Close-062	1039	1
Close-063	371	1
Close-064	327	1
Close-065	724	1
Close-066	1528	1
Close-067	151	1
Close-068	353	1
Close-069	446	1
Close-070	444	1
Close-071	324	1
Close-072	859	1
Close-073	180	1
Close-074	224	1
Close-075	353	1
Close-076	305	1
Close-077	389	1
Close-078	537	1
Close-079	293	1
Close-080	1220	1
Close-081	201	1
Close-082	2411	1
Close-083	97	0
Close-084	282	1
Close-085	104	1
Close-086	138	1
Close-087	78	0
Close-088	469	1
Close-089	138	1
Close-090	914	1

CLOSE DS1 DS2

	Tempo de Vida ou Ton. de vida TOTAL	CENSURA
Close-091	397	1
Close-092	2003	1
Close-093	397	1
Close-094	537	1
Close-095	203	1
Close-096	580	1
Close-097	592	1
Close-098	465	1
Close-099	574	1
Close-100	166	1
Close-101	116	1
Close-102	302	1
Close-103	226	1
Close-104	2125	1
Close-105	592	1
Close-106	255	1
Close-107	51	0
Close-108	445	1
Close-109	149	1
Close-110	424	1
Close-111	472	1
Close-112	1555	1
Close-113	152	1
Close-114	935	1
Close-115	476	1
Close-116	681	1
Close-117	376	1
Close-118	528	1
Close-119	209	1
Close-120	285	1
Close-121	305	1
Close-122	491	1
Close-123	416	1
Close-124	399	1
Close-125	327	1
Close-126	329	1
Close-127	419	1
Close-128	737	1
Close-129	389	1
Close-130	428	1
Close-131	168	1
Close-132	615	1
Close-133	451	1
Close-134	110	1
Close-135	531	1

CLOSE DS1 DS2

	Tempo de Vida ou Ton. de vida TOTAL	CENSURA
Close-136	553	1
Close-137	530	1
Close-138	397	1
Close-139	158	1
Close-140	452	1
Close-141	533	1
Close-142	502	1
Close-143	410	1
Close-144	397	1
Close-145	288	1
Close-146	429	1
Close-147	599	1
Close-148	375	1
Close-149	570	1
Close-150	456	1
Close-151	548	1
Close-152	274	1
Close-153	212	1
Close-154	561	1
Close-155	297	1
Close-156	155	1
Close-157	446	1
Close-158	389	1
Close-159	292	1
Close-160	223	1
Close-161	335	1
Close-162	272	1
Close-163	234	1
Close-164	226	1
Close-165	371	1
Close-166	541	1
Close-167	885	1
Close-168	209	1
Close-169	336	1
Close-170	294	1
Close-171	605	1
Close-172	375	1
Close-173	270	1
Close-174	399	1
Close-175	176	1
Close-176	403	1
Close-177	514	1
Close-178	1059	1
Close-179	4	0
Close-180	188	1

CLOSE DS1 DS2

	Tempo de Vida ou Ton. de vida TOTAL	CENSURA
Close-181	389	1
Close-182	298	1
Close-183	226	1
Close-184	249	1
Close-185	300	1
Close-186	448	1
Close-187	306	1
Close-188	254	1
Close-189	572	1
Close-190	95	0
Close-191	78	0
Close-192	415	1
Close-193	270	1
Close-194	401	1
Close-195	35	0
Close-196	430	1
Close-197	336	1
Close-198	654	1

CLOSE DS1 DS2

	Tempo de Vida ou Ton. de vida TOTAL	CENSURA

Utilizando os dados da tabela acima na aplicação STATISTICA 7, pela análise de processo Weibull, determinamos os seguintes parâmetros e tabelas para os cabos do CLOSE DS1 e DS2:

Parâmetro de escala $\eta = 1,62$

Parâmetro de forma $\beta = 533,77$

III-4 – TABELAS DA DURAÇÃO MÉDIA DOS CABOS DO TROLLEY LADO MAR E LADO DE TERRA (Tabela III-3):

CABOS TROLLEY DOS DESCARREGADORES

Cabos Lado de Terra		Cabos Lado do Mar	
Duração (Mtons)	Censura	Duração (Mtons)	Censura
5.577	1	6.300	1
4.898	1	6.994	1
5.647	1	7.149	1
5.015	1	7.149	1
5.300	1	1.566	1
5.701	1	6.252	1
6.000	1	6.252	1
5.300	1	6.435	1
2.034	1	6.824	1
3.246	1	2.454	1
4.835	1	3.403	1
2.171	1	686	0
4.714	1	1.810	1
5.487	1	966	1
5.855	1	2.085	1
6.300	1	2.085	1
1.588	1	3.440	1
1.778	1	5.377	1
2.893	1	950	1
5.900	1	3.893	1
1.336	1	500	0
1.006	1	1.810	1
2.070	1	1.406	1
675	0	5.148	1
1.926	1	2.212	1
2.462	1	1.406	1
1.035	1	5.525	1
1.482	1	5.835	1
1.533	1	11.176	1
2.727	1	3.155	1
3.594	1	4.519	1
3.136	1	2.541	1
2.652	1	6.472	1
2.377	1	8.061	1
5.342	1	4.519	1
4.783	1	9.332	1
4.321	1	10.443	1
4.712	1	5.863	1
4.764	1	3.553	1
2.674	1	5.951	1

(Continuação tabela III-3)

Cabos Lado de Terra		Cabos Lado do Mar	
Duração (Mtons)	Censura	**Duração (Mtons)**	Censura
1.651	1	11.736	1
617	0	5.540	1
3.207	1	1.680	1
6.182	1	1.867	1
4.802	1	2.081	1
4.802	1	7.072	1
5.560	1	2.081	1
5.886	1	7.102	1
8.328	1	5.540	1
6.964	1	2.826	1
5.988	1	9.787	1
5.988	1	5.114	1
8.530	1	11.268	1
3.836	1	2.060	1
1.450	1	2.754	1
1.076	1	3.232	1
2.059	1	5.506	1
3.019	1	7.226	1
3.148	1	7.226	1
5.532	1	5.114	1
2.160	1	2.961	1
4.794	1	9.708	1
7.092	1	5.354	1
3.232	1	6.627	1
2.903	1	1.657	1
2.044	1		
3.827	1		
4.150	1		
2.708	1		
2.708	1		
7.226	1		
6.601	1		
2.529	1		
2.898	1		
4.557	1		
3.651	1		
3.651	1		
427	0		
1.744	1		
2.606	1		

Média 3812,2 Mtons	77	**Média 4840,2 Mtons**	63
Censura	3	**Censura**	2

III-5- Valores a retirar para cálculo

Determinamos os seguintes parâmetros de escala e de forma da Distribuição de Weibul para os cabos do Hold, Close, Trolley Lado de Terra e Trolley do Lado do Mar dos 2 Descarregadores:

PARÂMETROS DA DISTRIBUIÇÃO DE WEILLBUL						
Tipo de cabos	**Forma β**	**Escala η**	**Nº Obs.**	**Cens.**	**Média**	**Desv. P.**
Cabos Hold Diam. 42	2,25	309,68	319	32	252,20	657,33
Cabos Close Diam. 42	1,65	532,28	197	11	448,00	327,13
Cabos Trolley - Lado Terra Diam. 38	2,31	4460,49	80	3	3812,24	1925,90
Cabos Trolley - Lado Mar Diam. 38	1,88	5624,23	65	2	4840,00	2873,25

Com estes dados e com os custos de manutenção correctiva (Cc) e custos de manutenção preventiva (Cp), já etamos em condições de calcular o custo óptimo de manutenção preventiva dos cabos de aço dos descarregadores.